

الطاقة الشمسية واستخداماتها



مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

دار الكتب العلمية
للنشر والتوزيع
القاهرة

دار الكتاب العلمية للنشر والتوزيع

هـ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة

٢٧٩٥٤٢٢٩ ☎

www.sbh-egypt.com

e-mail : sbh@link.net

Scientific Book House

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
Scientific Book House

هـ شارع الشيخ ريجان - عابدين - القاهرة

٢٧٩٥٤٢٢٩ ☎

www.sbh-egypt.com

e-mail : sbh@link.net

الطاقة الشمسية

واستخداماتها

مهندس استشاري
محمد أحمد السيد خليل

الكتاب :	الطاقة الشمسية واستخداماتها
المؤلف :	مهندس محمد أحمد خليل
الناشر :	دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - القاهرة
المقاس :	24 X 17
عدد الصفحات :	480
الطبعة :	الأولى
رقم الإيداع :	2009/8019
ردمك :	978 977 287 894 1

© حقوق النشر والطبع والتوزيع محفوظة لدار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - 2009

لا يجوز نشر جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو اختصاره بقصد الطباعة أو اختزان مادته العلمية أو نقله بأي طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو خلاف ذلك دون موافقة خطيه من الناشر مقدماً .

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

50 شارع الشيخ ربحان - عابدين - القاهرة

☎ 27948619 - 27954229

فاكس: 27928980

لمزيد من المعلومات يرجى زيارة موقعنا على الإنترنت

www.sbhegypt.org

e-mail : sbh@link.net



شكر ونقدير

أود أن أسجل اعترافي بفضل شقيقي المهندس الاستشاري زكريا أحمد السيد خليل لقراءته المتأنية لمخطوطات الدراسة وملاحظاته الثاقبة والرصينة التي كان لها فضل كبير في إنضاج الدراسة وفي إدخال تعديلات مضمونية وشكلية على الكتاب والتي ساعدت على خروجه بالصورة الحالية.

مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

مقدمة عامة

إن مصدر الطاقة الشمسية على كوكب الأرض هو الطاقة النووية سواء كانت طاقة اندماج نووى قادم من أشعة الشمس والذي يصل إلى سطح الأرض، أو كانت طاقة انشطار نووى التى هى طاقة الحرارة الأرضية المسببة لخروج الحمم البركانية من باطن الأرض وكذلك سخونة الكثير من مياه العيون، أو أن تكون طاقة انشطار نووى باستخدام المواد المشعة القابلة للانشطار النووى المتاحة فى القشرة الأرضية كما هى فى باطن الأرض.

الطاقة الشمسية هى مصدر كل مصادر الطاقة من الوقود الاحفورى (Fossil) والذي يشمل الفحم والبتروول والغاز. وكذلك كل مصادر الطاقة الجديدة المتجددة والتي تشمل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، والطاقة المائية وطاقة المد وطاقة مياه المحيطات وطاقة الكتلة الحيوية.

فى وجود الطاقة الشمسية تتكون المادة الكربوهيدراتية فى النبات من اتحاد ثانى أكسيد الكربون والماء مع خروج الأكسجين. المادة الكربوهيدراتية النباتية هى مصدر الغذاء الرئيسى للكائنات الحيوانية. لذلك فإن مصادر الطاقة التقليدية (الاحفورية) هى من أصل نباتى وحيوانى والتي تعرضت للضغط والحرارة تحت سطح الأرض منذ ملايين السنين والذي كان السبب فى وجود هذه الطاقة التقليدية هو الطاقة الشمسية. كذلك فإن مصادر الطاقة الجديدة المتجددة والتي تسمى مصادر الطاقة الغير تقليدية هو الطاقة الشمسية. فبالنسبة لطاقة الرياح فإن الطاقة الشمسية هى المسببة لحركة الرياح ومن ثم استخدام طاقة الرياح فى توليد الطاقة الكهربائية والميكانيكية وذلك بسبب اختلاف تأثير أشعة الشمس على الماء واليابسة (المسطحات المائية تشكل حوالى 70% من سطح الكرة الأرضية) بما يسبب حدوث اختلاف فى درجات الحرارة والضغط والذي يسبب بالتالى حركة الرياح. كذلك فإن الطاقة الشمسية هى المسببة للطاقة المائية حيث تتبخر المياه من المسطحات المائية بفعل الطاقة الشمسية وتحملها الرياح حيث تسقط مسببه مصدراً للطاقة المائية. وطاقة الكتلة الحيوية التى هى من أصل نباتى أو طاقة مياه المحيطات نتيجة اختلاف درجات الحرارة بين السطح العلوى والمياه العميقة هما كذلك بفعل الطاقة الشمسية. بالإضافة إلى أن مصادر الطاقة التقليدية والغير تقليدية هو الطاقة الشمسية فإن الطاقة الشمسية يمكن تجميعها واستخدامها فى توليد الطاقة الكهربائية وفى تسخين المياه

الطاقة الشمسية واستخداماتها

للاستخدام المنزلى والصناعى وفى تحلية مياه البحر وفى التبريد والتدفئة المنزلية، التجفيف الشمسى للحاصلات الزراعية، المطابخ الشمسية، المحركات الشمسية لضخ المياه وفى تبريد وحفظ المواد الغذائية والأفران الشمسية .. الخ.

وبعد أن صار مؤكداً نفاذ مصادر الطاقة التقليدية من البترول والغاز قبل نهاية هذا القرن فقد أصبح الاهتمام بمصادر الطاقة الغير تقليدية من الأمور الهامة حيث لم يصل بعضها إلى درجات النضج الاقتصادى والتقنى المناسب.

وفى هذه الدراسة سيتم تناول موضوع الطاقة الشمسية واستخداماتها. الطاقة الشمسية يبدو أنها ستصبح مصدراً للطاقة يمكن الاعتماد عليه بالإضافة إلى عدم وجود تأثيرات تلوث واضحة لاستخداماتها.

الأبحاث العلمية الحديثة فى مجال الطاقة الشمسية بدأت فى عام 1855 عندما قام العالم الاسترالى (C. Guntur) باختراع الغلاية الشمسية باستخدام المرايا. فى عام 1976 قام المخترع الأمريكى (Thon Erisson) باختراع أنواع عديدة من محركات الهواء الساخن للتدفئة المنزلية. فى النصف الأخير من القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين كانت الأبحاث بطيئة فى مجال الطاقة الغير تقليدية، وذلك بسبب توفر الوقود التقليدى بأسعار زهيدة. ولكن الأبحاث المتعثرة فى مجال الطاقة الشمسية قد انعشت فى عام 1940 عندما ترك (God Eray Gabat) كمية كبير من المال للمشروعات البحثية فى هذا المجال. قريباً شملت الأبحاث فى مجال الطاقة الشمسية اهتمام الدول الصناعية، وفى المستقبل القريب سوف نرى تطوراً كبيراً فى مجال تكنولوجيا الطاقة الشمسية.

كل الدول فى جميع أنحاء العالم تستقبل بعضاً من الطاقة الشمسية. هذه الكمية تختلف ما بين عدة مئات من الساعة فى العام كما فى دول الشمال إلى أربع آلاف ساعة فى العام كما فى معظم الدول العربية. عند تقدير كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض دعنا نتناول أولاً الصحارى الطبيعية فى العالم والتى تشمل صحارى الشمال بمساحة حوالى 30×10^6 كيلومتر مربع بمتوسط إشماس أى الشعاع شمسى (Insolation) 291.65 وات/متر مربع/اليوم. وصحارى حول المدار بمساحة 20×10^6 كيلومتر مربع والتى تستقبل حوالى 583.3 وات/المتر المربع/اليوم. وفى حالة عدم تناول المساحات البحرية وباقى المساحات الأرضية. لذلك، فإن كمية الطاقة الشمسية التى يتم استقبالها بهذه المسحة 50×10^6 كيلو متر مربع هى 162.2×10^{12} كيلو وات ساعة/اليوم، مع افتراض أن الإشعاع الشمسى هو بمتوسط ثمان ساعات، أو تقريباً 60×10^{15} كيلوات ساعة/العام.

الطاقة الشمسية واستخداماتها

وباستخدام 5% فقط من هذه الطاقة فإنه سوف ننتج 300×10^{13} كيلوات ساعة وبمقارنة هذه مع متطلبات الطاقة على مستوى العالم فى عام 2000 (50×10^{12} كيلوات ساعة/العام) يمكن ملاحظة أنها تصل إلى 60 ضعف الذى يتطلبه العالم.

معظم الطاقة التى تستقبلها من الشمس تأتى فى صورة ضوء، الإشعاع ذو الموجة القصيرة ليس كله يمكن رؤيته بواسطة العين البشرية عند سقوط هذا الإشعاع على مادة صلبة أو سائلة، فإنه يمتص ويتحول إلى طاقة حرارية وتصبح المادة ساخنة وتختزن الحرارة وتوصلها إلى المادة المحيطة (الهواء، المواد الصلبة أو السائلة الأخرى، أو إعادة إشعاعها إلى مواد أخرى ذات درجة حرارة أقل. إعادة الإشعاع (Re - Radiation) هو إشعاع ذو الموجة الطويلة (Long - Wave).

الزجاج ينقل بسهولة الأشعة قصيرة الموجة، وهذا يعنى أنه يمتلك إعاقة قليلة للأشعة الشمسية القادمة. لكنه ناقل ضعيف جداً للأشعة طويلة الموجة، بمجرد مرور الأشعة الشمسية خلال النافذة الزجاجية وامتصت بواسطة بعض المواد فى الداخل، فإن الحرارة سوف لا يتم إعادة إشعاعها ثانياً إلى الخارج. لذلك، فإن الزجاج يعمل كمصيدة للحرارة (Heat Trap) وهى الظاهرة التى عرفت فى إنشاء البيوت الزجاجية (Green House)، والتى يمكنها الحصول على الدفئ فى الأيام الشمسية حتى فى فصل الشتاء، وقد عرف هذا بتأثير الصوبة "Green House Effect".

المجمع أو الحاشد (Collector) الشمسى للتدفئة المنزلية والذى يسمى عادة المجمع ذو السطح المستوى (Flat plate collectors)، له دائماً واحد أو أكثر من الأغشية الزجاجية، رغم أن مختلف أنواع البلاستيك والمواد الشفافة الأخرى قد تم استعمالها بدلاً من الزجاج. أسفل لوح الغطاء، يوجد عادة لدى الجامعات (الحاشدات) الشمسية (Collectors) لوح آخر الذى يمتص الأشعة الشمسية الساقطة عليه. اللوح الماص (Absorber) هذا يصنع عادة من النحاس، الألومنيوم، الصلب أو من مادة مناسبة أخرى وعادة يغطى بمادة مثل الطلاء الأسود التى تساعد فى امتصاص معظم الحرارة وليس انعكاسها أو إعادة إشعاعها. بمجرد أن يتم امتصاص الحرارة فإنه يمكن التقاطها واستخدامها. ألواح الأغشية الزجاجية تساعد فى خفض الفقد الحرارى خلال المقدمة بينما العزل لقاع اللوح الماص يقلل الفقد الحرارى خلال المؤخرة. استخدام الطاقة الشمسية الأكثر نجاحاً الآن هو فى الاستخدامات الآتية:

1- تدفئة المباني.

- 2- تبريد المباني.
- 3- التسخين الشمسي للماء أو الهواء.
- 4- إنتاج الملح بتبخير مياه البحر.
- 5- التقطير الشمسي للمياه المالحة لتوفير المياه العذبة لاستخدامات التجمعات الصغيرة.
- 6- طهي الأطعمة.
- 7- المحركات الشمسية لضخ المياه.
- 8- تبريد وحفظ المواد الغذائية.
- 9- التحول الفوتوفولتي (Photo - Voltaic Conversion).
- 10- الأفران الشمسية.
- 11- المصدر الغير مباشر لتحويل الطاقة الشمسية، أى فى شكل الرياح، التحول البيولوجى .. الخ.

وسيتم فى هذه الدراسة تناول موضوع الطاقة الشمسية واستخداماتها فى 17 فصل. حيث خصص الفصل الأول لمصادر الطاقة على كوكب الأرض والتعاريف والفصل الثانى للانتقال الحرارى واستخدام الطاقة الشمسية، وفى الفصول من الثالث حتى الرابع تحليل الإشعاع الشمسى وقياساته. والفصل الخامس لطبقات التغطية والطلاء والفصل السادس تناول المجمعات الطاقية والسابع المجمعات الشمسية من نوع التركيز البؤرى، الثامن لاختبار الأداء للمجمعات الشمسية، والتاسع لتخزين الطاقة الشمسية، الفصل العاشر تم فيه تناول البرك الشمسية، الفصل 11 للتسخين الشمسى للماء، الفصل 12 خصص للتدفئة الشمسية للمباني، الفصل 13 للتبريد (التكييف) الشمسى للمانى، الفصل 14 لتوليد الشمسى للطاقة الحرارية، الفصل 15 التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية الفوتوفولتية، الفصل 16 طرق أخرى لاستخدام الطاقة الشمسية، أما الفصل 17 والآخر فقد تناول الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة الشمسية.

ولقد تم إعداد هذا المرجع لإلقاء الضوء على جدوى استعمالات الطاقة الشمسية فى مختلف الأغراض وفى مختلف فصول السنة والله أسأل أن تتحقق الاستفادة منه.

المؤلف

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

فهرس

أرقام الفصول	الموضوع	رقم الصفحة
الأول	مصادر الطاقة على كوكب الأرض والتعاريف.	11
الثاني	الانتقال الحرارى واستخدام الطاقة الشمسية	29
الثالث	تحليل الإشعاع الشمسى	45
الرابع	قياسات الإشعاع الشمسى	71
الخامس	طبقات التغطية والطلاء	89
السادس	المجمعات الطافية	129
السابع	المجمعات الشمسية من نوع التركيز البورى	165
الثامن	اختيار الأداء للمجمعات الشمسية	185
التاسع	تخزين الطاقة الشمسية	199
العاشر	البرك الشمسية	235
الحادى عشر	التسخين الشمسى للماء	253
الثانى عشر	التدفئة الشمسية للمبانى	281
الثالث عشر	التبريد (التكييف) الشمسى للمبانى	317
الرابع عشر	التوليد الشمسى للطاقة الحرارية	337
الخامس عشر	التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية الفوتو فوليته	369
السادس عشر	طرق أخرى لاستخدام الطاقة الشمسية	395
السابع عشر	الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة الشمسية	445
الملحق	تعريفات الوحدات الرياضية والعلمية	469
المراجع		480



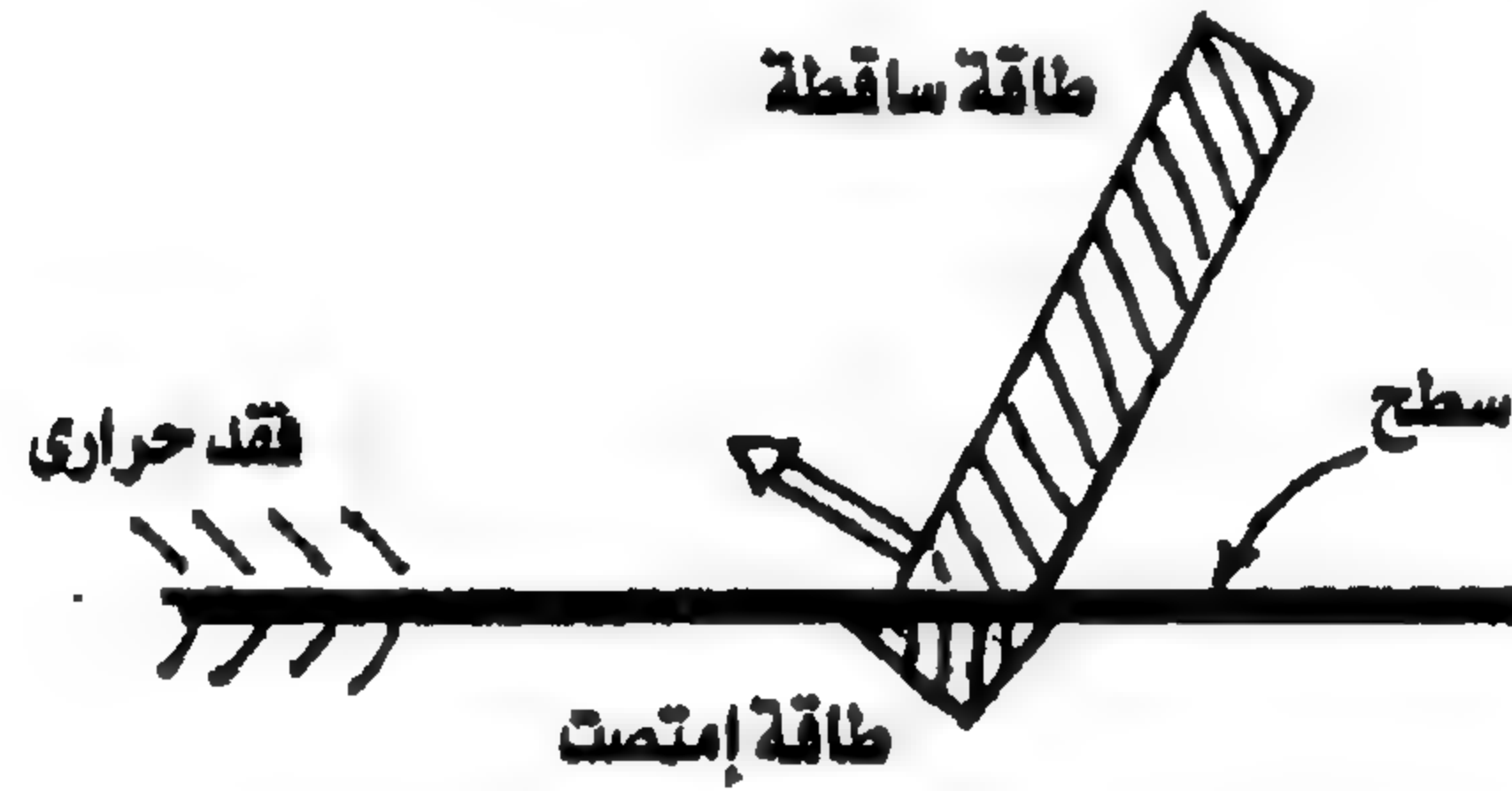
الفصل الأول

مصادر الطاقة على كوكب

الأرض والتعاريف

1- الإشعاع الشمسي :

أقرب النجوم هي الشمس، وهي ذات حجم متوسط 1.376.000 كيلو متر (860000 ميل) الشمس تدور حول محورها مرة واحدة تقريباً كل شهر، ولكونها كتلة متوهجة من الغاز وفرن نووي ضخم حيث يتحول الهيدروجين إلى الهيليوم، وكثافتها أقل عن 1.5 ذلك للماء - الشمس ذات سطح يحير البصر من شدة الضوء، سطح الشمس المنير (الفوتوسفير) منطقة بنقط سوداء وقطع لامعة صغيرة. نتوءات ضخمة أو تيارات من الغاز الساخن تتطلق إلى الخارج وتمطر على سطح الشمس، حيث تتحرك بسرعات مختلفة. حول الشمس توجد حالة ثابتة ذات غاز مرتفع وهابط، ذات كثافة عالية بحيث أن ملاحظة هذه المشاهد الغير عادية بالعين المجردة يكون غير آمن. الذي يصل إلى الأرض من طاقة الشمس هذه هو فقط 1 على 2 مليون من هذه الطاقة.



شكل (1/1) الامتصاص

مصادر الطاقة التقليدية مشتقة من الشمس. التمثيل الضوئي يحول الإشعاع الشمسي الساقط إلى الكبروهيدريت في النبات مع وجود ثاني أكسيد الكربون والماء وبذا ينمو النبات، وتتغذى عليه الكائنات الحيوانية. النبات والكائنات الحيوانية التي ماتت وتحللت تحت سطح الأرض منذ مئات وملايين السنين تحولت إلى الوقود التقليدي.

كل يومين تسقط الشمس على الأرض طاقة تعادل كل الاحتياطات المعروفة من الوقود على الأرض.

في مواجهة الخفض بل ونهاية عصر الوقود التقليدي قبل نهاية القرن الواحد والعشرين، فإن العلماء والمهندسون حولوا أنظارهم الآن نحو الاستخدام المباشر للطاقة من الشمس والتي لا تتضب لاستمرار الحياة. المعدة المصممة لتحويل طاقة الشمس للتسخين أو التشغيل تستخدم الإشعاع الشمسي لهذا الغرض. العوامل الرئيسية التي تؤثر على كميات الإشعاع المستقبلية بالسطح الأفقي عند مستوى سطح الأرض هي وضع

الشمس في خط العرض لزاوية التمدد (Altitude and Azimuth) معظم محطات الرصد تسجل الإشعاع الشمسي في شكل إشعاعات كوني أو كلي استقبال بواسطة سطح أفقي.

الإشعاع الشمسي الكوكبي يتكون من ثلاث مكونات أساسية.

• إشعاع مباشر (Direct Radiation).

• إشعاع منتشر Diffuse Radiation.

• إشعاع منعكس من الأرض Reflected radiation

لغرض الحسابات، باعث الإشعاع الشمسي - الشمسي- يمكن اعتبارها نقطة المصدر للإشعاع المباشر وأن مقدار هذا الإشعاع من السماء الصافية يمكن حسابه من هندسة زوايا الوضع الشمسي.

الإشعاع المنتشر المشتت يتم استقباله من كل نصف الكرة السماوي ويفترض أن يكون ذو كثافة متجانسة، هذه الفرضية من الواضح أنها ليست دقيقة، ولكنها مناسبة لمعظم الأغراض.

في مثل هذه الظروف، فإنه يوجد إشعاع شمسي منعكس من الأرض على الأسطح المائلة، مثل هذا الإشعاع يصعب تقديره وعادة يتم إهماله في كل الحسابات العلمية للطاقة.

يكون من المفضل إنشاء عدة حصد الطاقة الشمسية في الأماكن حيث يفترض وفرة الإمداد بهذا الإشعاع الشمسي. الجدول الآتي يبين متوسطات الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي في أماكن مختلفة من الكرة الأرضية.

جدول (1-1) الإشعاع الكوكبي أو الكلي عن سطح أفقي

الدول / المكان	المتوسط اليومي خلال العام		الإجمالي السنوي جيجا جول/م ²
	وات ساعة/متر مربع	وحدة حرارية/قدم مربع	
شمال أوروبا	280 - 240	890 - 760	3.8 - 3.1
دول البحر الأبيض المتوسط	600 - 430	1900 - 1360	8.0 - 5.6
وسط أفريقيا	430 - 440	1990 - 1400	8.3 - 5.8
الهند باكستان	630 - 520	1990 - 1660	8.3 - 6.8

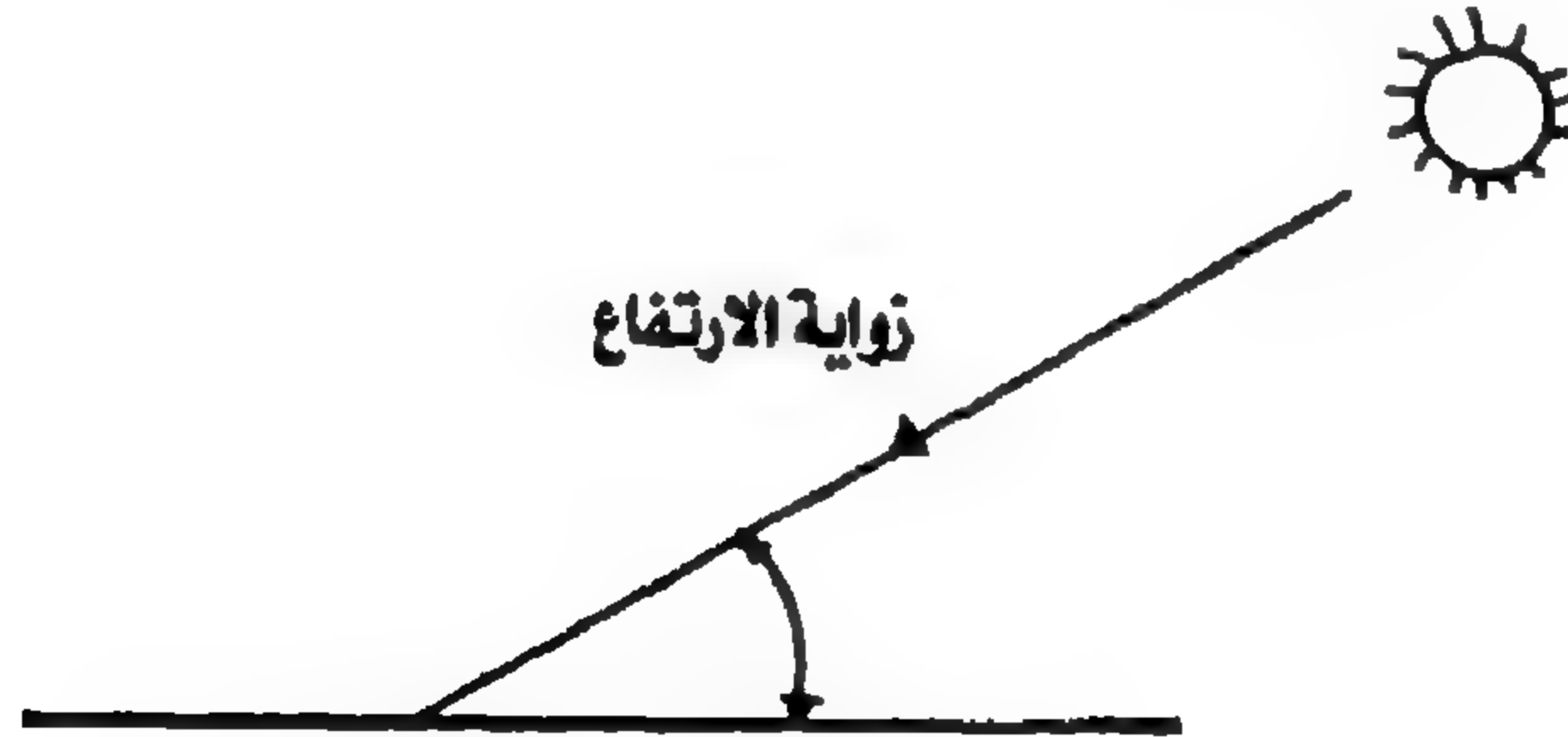
اليابان	420 - 325	1330 - 1030	5.6 - 4.2
المملكة المتحدة	267	847	3.5
الولايات المتحدة			
الولايات الشمالية	385	1220	5.0
الولايات الجنوبية	580	1840	5.6
كندا	230	740	3.1

الجدول يبين أن الأماكن ذات طاقة شمسية عالية هي دول البحر الأبيض المتوسط، دول أخرى. الطاقة الشمسية الساقطة على كل هكتار في الهند أو في مصر يساوى ما يتم الحصول عليه من حرق ما يزيد عن 1000 طن من الفحم. رغم أن اليابان من بين الدول المستقبلية لكم كبير من الطاقة الشمسية إلا أنه في عام 1970 وحده تم بيع ما يزيد عن 2.5 مليون سخان ماء شمسي.

2- معانى الكلمات والمصطلحات:

1- Absorptance الامتصاصية :

وهي النسبة بين الطاقة الإشعاعية الممتصة بواسطة سطح مستوى إلى الطاقة الإشعاعية الساقطة على ذلك السطح شكل (2/1).



(شكل 2/1) زاوية الارتفاع عن الأفق

2- Absorbtion الامتصاص:

هو العملية التي يتحول فيها الإشعاع خلال المادة إلى طاقة مثارة. معظم الطاقة الإشعاعية الساقطة على سطح أسود من خليط معدني يتم امتصاصها - عادة بما لا يقل عن 80% وبالنسبة للسطح الانتقائي أو المعالج خصيصاً حوالى 98%. عملية التحول الحرارى معقدة، متضمنة سرعة الإلكترونات، تعدد التصادمات، وامتصاص وتشقق

الكم الضوئي (Photons). الطاقة الإشعاعية لكل أطوال الموجة لذلك يتم انحطاطها وهبوطها (Degraded) إلى حرارة. أنظر السطح الانتقائي (Selective surface) في الفصول التالية .

3- Absorbtion coefficient معامل الامتصاص :

هو مقياس لقوة الامتصاص لمادة للطاقة الإشعاعية لوحدة الطول. عادة تقدر ببساطة عشريا (0.8 أو 0.98) ويرمز لها بالرمز (α) .

4- Air conditioning system : نظام تكييف الهواء

تكييف الهواء الشامل يقوم بالتوزيع الصحيح للهواء المعالج في الفراغ ويحصل على حالات سبق تعيينها في هذا الفراغ لدرجة الحرارة، المحتوى من الرطوبة، والترشيح وتدفق الهواء.

5- Air Mass كتلة الهواء :

طول المسار خلال الغلاف الجوي للأرض الذي يعبره إشعاع شمسي مباشر، مقدرا كمضاعف طول المسار مع الشمس عند السمات أو الذروة (Zenith).

6- Air Vent تصريف الهواء :

تجهيزه لإزالة الهواء من نظام سائل، أما يدويا أو آليا.

7- Algae الطحالب :

نباتات وحيدة الخلية أو شعيرية التي عادة تنمو بسرعة وتعيش في الماء العذب أو المالح. تكون الطحالب خلال المحميات الشمسية يكون غير مرغوب فيه.

8- Altitude زاوية الارتفاع عن الأفق :

الزاوية التي تكون بين أشعة الشمس والسطح الأفقي عند نقطة معينة شكل (2/1).

9- Ambient درجة الحرارة المحيطة :

10- Antifreeze مانع التجمد:

الذي يمنع التجمد للمادة (عادة) بإضافات عديدة أو بتسخين العناصر النادرة بما يحافظ على درجة حرارة السائل فوق درجة حرارة التجمد (صفر مئوية $^{\circ}32$ فهرنهايت).

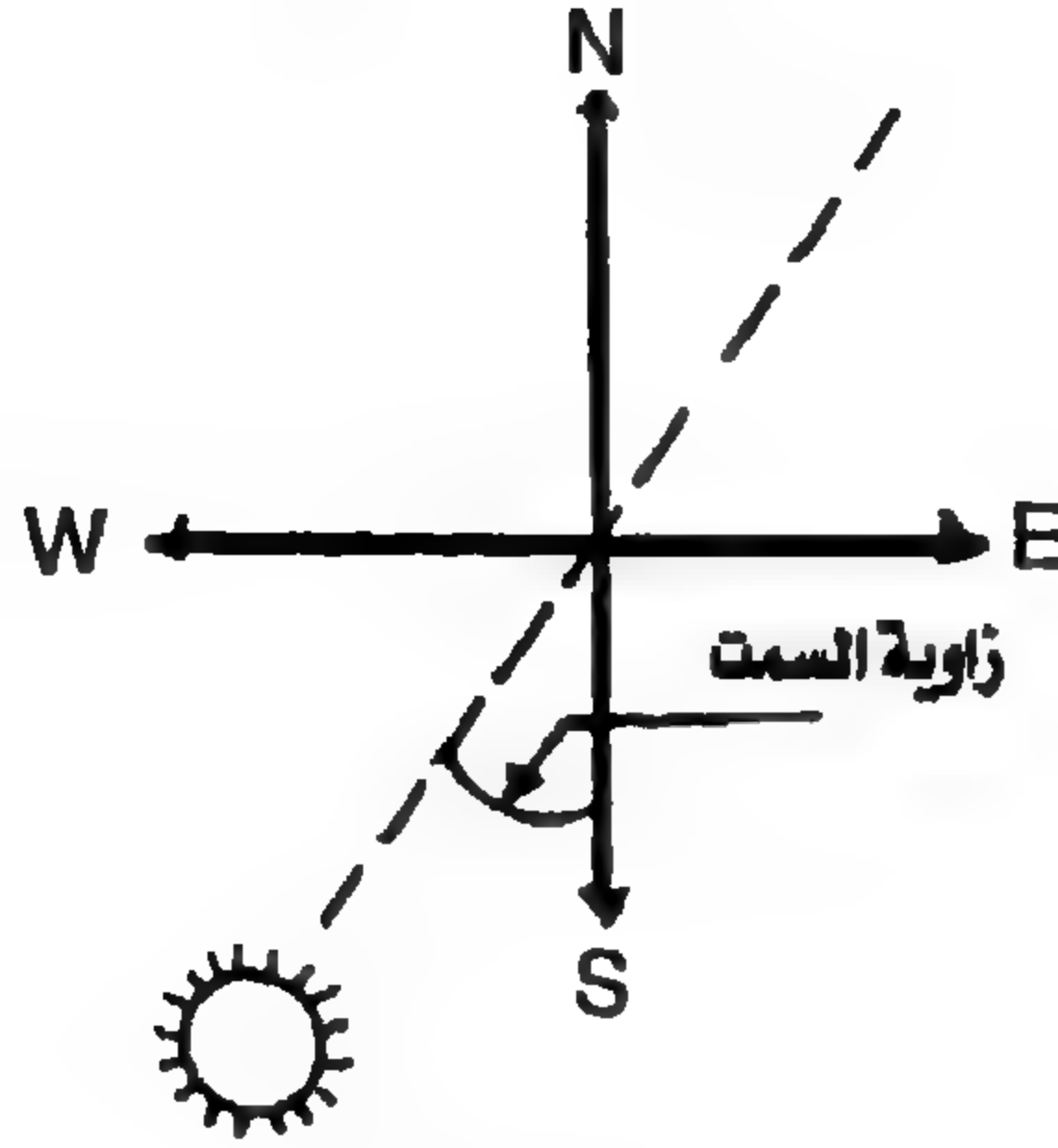
11- Anti reflection coating الطلاء أو الغطاء المانع للانعكاس.

الطلاء أو التغطية على السطح لزيادة كمية اختراق الضوء. واختصاره (AR) وقد يستخدم على سطح الخلايا الشمسية أو الأغشية الزجاجية أو من البلاستيك للمجمعات الشمسية (Solar collectors).

12 - Array صف كما في حالة الصف من الخلايا الشمسية (Solar array).

13 - Azimuth السميت:

الزاوية التي تكونها أشعة الشمس مع المستوى الأفقى عند نقطة معينة شكل (3/1).

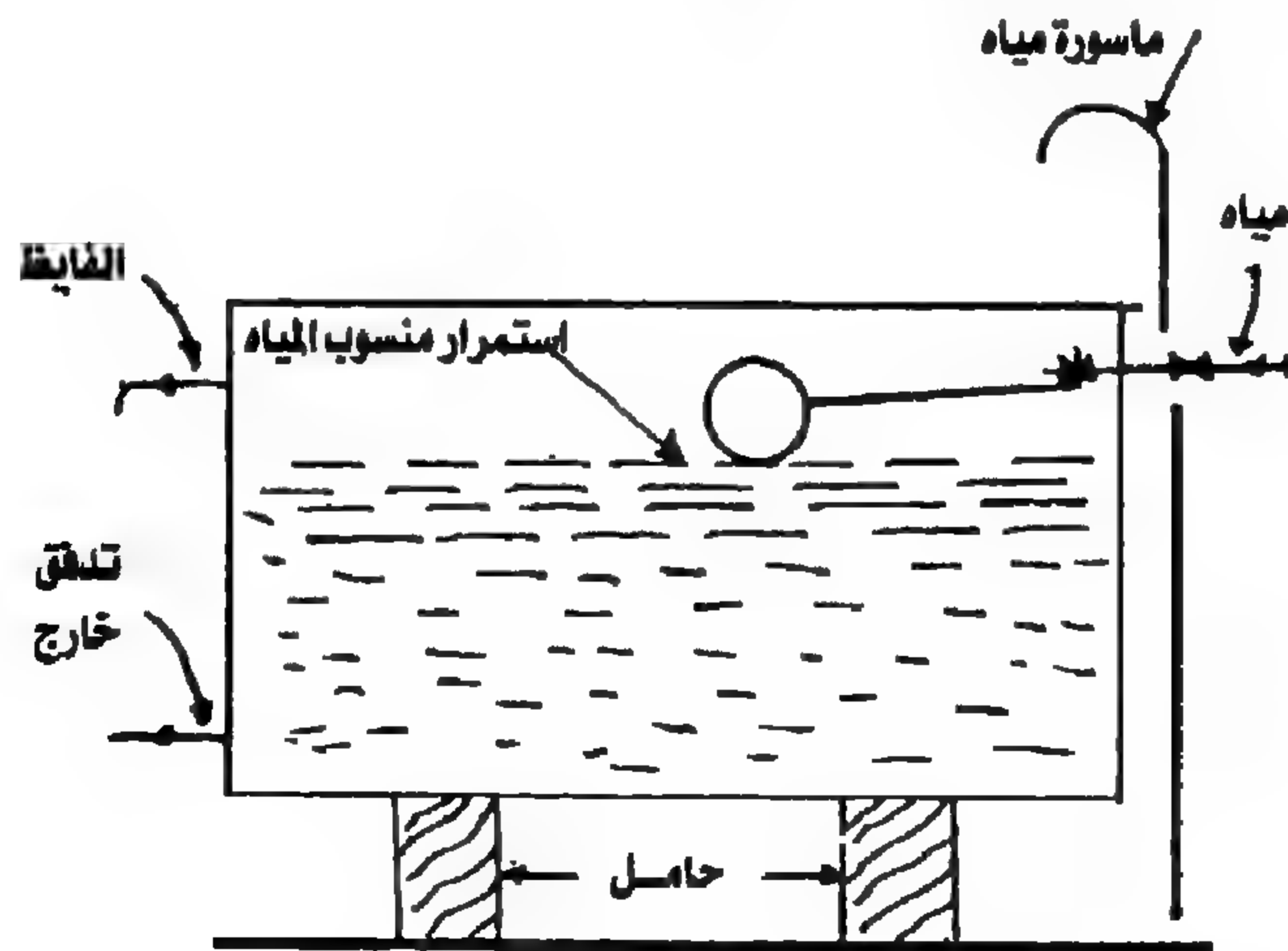


شكل (3/1)

زاوية السميت عادة تقاس بالدرجات شرقاً (صباحاً) ودرجات غرباً (بعد الظهر) للجنوب.

14 - Ball valve محبس كوره:

في معظم خزانات المياه المفتوحة توجد حاجة لزيادة المياه. محبس الكوره الذى هو عبارة عن عوامة من البلاستيك أو المعدن متصلة بزراع رافعة إلى آلية محبس منزلق لمحبس المياه الرئيسى شكل (4/1).



شكل (4/1) خزان مزود بمحبس (كورة) عوامة

15 - Black Body جسم أسود :

الجسم الأسود يقصد به المادة المثالية التي تمتص كل الإشعاع الساقط عليها ولا تبعث أى شئ. التعريف المقابل هو الجسم الذي يبعث أقصى إشعاع ممكن، وإنبعاثيته (Emissivity) تكون واحد (1.0).

16 - Circulating pump طلمبة تدوير :

تجهيزه عادة تعمل بالكهرباء، تستخدم لتحريك سائل (عادة الماء) خلال ماسورة لنقل الحرارة مثل (مثال) المجمع الشمسي (Solar collector) إلى التخزين الحراري. قلب الإنسان هو مثال جيد لطلمبة التدوير.

17 - Clearness الصفاء والنقاء

الغلاف الجوى ليس صافى دائماً كما هو الحال عند مستوى سطح البحر، عند ارتفاع واحد ميل (1.6 كيلو متر) فوق مستوى البحر، لذلك فإن مستوى الإشعاع أو الامتصاص (Insolation). هذه الظاهرة تعرف بإعداد النقاء (Clearness Numbers). فى صحراء أريزونا إعداد الصفاء أو النقاء تقترب من الواحد الصحيح.

18 - Colour temperature درجة حرارة اللون:

درجة الحرارة فى درجات كلفن (K)، التي عندها طيف الإشعاع الطيفى لجسم كامل السواد مشع يتطابق تقريباً مع شكل منحنى الإشعاع الطيفى للمصدر المشع تحت الاعتبار. درجة حرارة اللون للإشعاع الشمسي الكوكبي خلال طول الموجة من 300 نانوميتر إلى 780 نانوميتر (300 - 780 nm) عند سطح الأرض فى المملكة المتحدة هو حولى 5700° كلفن (5700 K) مع تغيرات كبيرة.

19 - control devices تجهيزات تحكم:

التجميع الناجح للحرارة يتطلب تحكم لتجنب التسخين الزائد، الغليان أو التلف بتجميد المائع أو التلج للحصول على حيود نحو أو خارج مصدر الحرارة. مثل تجهيزات التحكم هذه الكهربائية أو الميكانيكية الحرارية (Thermo - mechanical) تستخدم لنظم التجميع الشمسي.

20 - Corrosion التآكل :

التآكل فى نظم التجميع الشمسي عادة يسبب الثقوب أو العدوانية الكيماوية على أسطح المعدات. التآكل يمكن أن يكون حاداً.

21 - Declination الانحراف أو الميل الزاوى:

الزاوية بين مستوى مدار الأرضي (Earth's Orbit) والمستوى الاستوائى المار بخط الاستواء (Equatorial Plane) أو المسافة الزاوية للشمس من خط الاستواء.

22 - (Temperature) Deltat :

الفرق في درجة الحرارة بين متوسط درجة حرارة المائع للمجمع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة، أو العادية، أو الهواء.

22 - Dezincification إزالة الزنك :

نوع من التآكل الناتج عن الإزالة التفضيلية للزنك من سبيكة النحاس الأصفر (Brass)، فهي تحول النحاس الأصفر إلى النحاس المثقب والذي يمكن أن يؤدي إلى الإنسدادات بنواتج التآكل وفقد القوة.

23 - Electrical wiring system نظام أسلاك التمديد الكهربائي:

الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل طلمبة تدوير وتجهيزات أخرى تعمل بالطاقة الكهربائية مع التحكم منخفضة الجهد (الفولت) لتشغيل أو إيقاف هذه التجهيزات يتطلب نظام أسلاك التمديد الكهربائي، عادة امتداد من الإمداد العام للمبنى من الكهرباء.

24 - Electrolytic Action الأداء الإليكتروليتي:

السبب في تلف وتدمير المعادن الغير متماثلة (عادة النحاس والصلب المطاوع المجلفن) الملتصقين مع بعضهم البعض، الذي يتم تعجيله بواسطة السائل الساخن/الدافئ مثل تلف اتحاد أو التصاق النحاس وأنبوب الصلب المجلفن الحامل للماء الساخن خلال حلقة تدوير.

25 - Emittance: شدة الانبعاث :

نسبة الطاقة الإشعاعية المنبعثة (في عدم وجود إشعاع ساقط) من سطح مستوى معين عند درجة حرارة معينة، إلى طاقة الإشعاع التي سوف تبعث بواسطة جسم أسود مثالي عند نفس درجة الحرارة.

26 - Equinox الاعتدال الربيعي أو الخريفي :

اللحظة التي عندها تغير الشمس ظاهرياً خط الاستواء السماوي Celestial Equator نقطة تقاطع مدار الشمس الظاهري بين البروج، أو دائرة الكسوف (Ecliptic) وخط الاستواء السماوي عندما يكون الميل يساوي صفر.

27 - Extended Finned surface إمداد السطح بالزعانف :

لزيادة المساحة السطحية للمعدن المتصل بأنبوب حامل للمائع، فإن كمية الحرارة المنقولة إلى السائل تزداد. الزعانف (Fins) يمكن أن تكون مستطيلة أو دائرية، متصلة برباط ميكانيكي أو باللحام.

28 - Fan المروحة :

تجهيزه (عادة تعمل بالكهرباء) لتحريك الهواء ضد مقاومة، مثل لتدوير الهواء بين المسكن وخزان الحرارة بغرف نقل الحرارة والتكييف.

29 - Flat plate collector مجمع اللوح المستوى:

30 - Flux مادة خفض درجة حرارة الانصهار للمعدن :

مادة تَخلط مع المعدن لخفض درجة حرارة الانصهار كما للحام بالفضة (Silver folding) لمواسير النحاس.

31 - Frost Damage تلف التجمد:

الماء يتجمد عند صفر درجة مئوية (32° فهرنهايت) عندئذ فإنه يزداد في الحجم (التغير من الحالة السائلة إلى الصلبة)، ولذا يحدث ذلك تمدد للماسورة أو الوعاء. يحدث الجليد عند درجات حرارة أقل من درجة التجمد، ولكنه عادة لا يكتشف حين تلف الماسورة أو عدم التجميد.

32 - Frost protection : الحماية من التجمد :

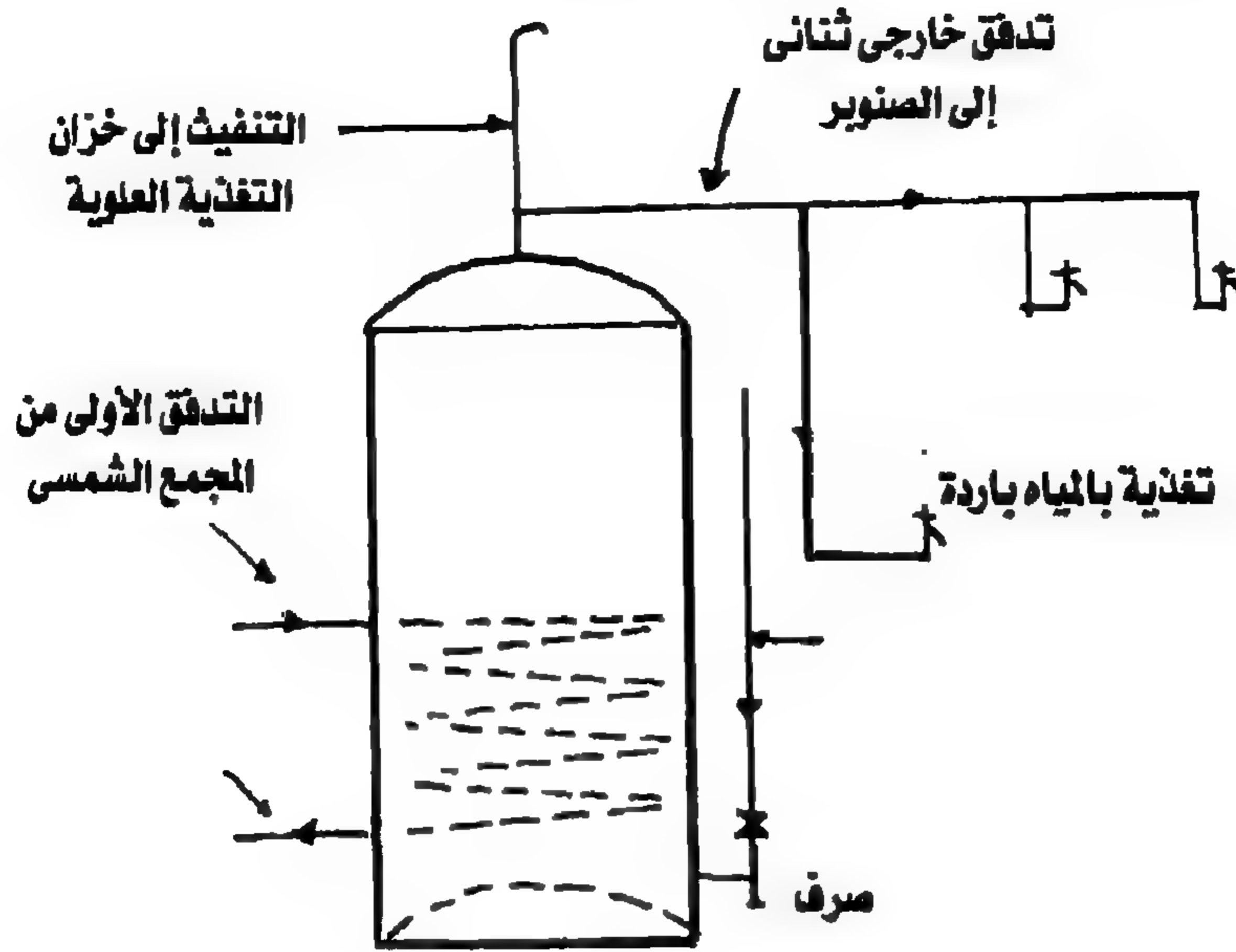
يوجد العديد من الطرق لمنع التلف بالتجمد للمواسير والمجمعات الشمسية، بالتفريغ، باستخدام سائل الذي يتجمد عند درجات حرارة منخفضة جداً أو العزل الحرارى الجيد.

33 - Green House Effect : ظاهرة الدفئيات، ارتفاع درجة الحرارة فى المستنبت الزجاجى عنها فى خارجه:

ظاهرة الصوبات: احتباس الإشعاع الحرارى (من الشمس) بواسطة جو الأرض. درجة حرارة الهواء تحت الزجاج أو الغطاء الشفاف تزداد عند التعرض للإشعاع الحرارى. هذا التأثير يكون بسبب امتصاص الإشعاع بواسطة الأسطح أسفل هذا الغطاء الشفاف وبواسطة الامتصاص السريع للإشعاع فى مجال الموجة الطويلة أو تحت الحمراء الغير قادرة على إعادة الإشعاع (Re-radiate) خلال الغشاء الشفاف.

34 - Heat Exchanger : المبادل الحرارى

وعاء أو مصدر للحرارة محتويًا لفيفه أولية من الأنابيب أو الفراغ الحلقى (Annulus) تنتقل الحرارة من المائع الأولى إلى المائع الثانى الأكثر برودة.



شكل (5/1) مبادل حراري

35- Heat store خزان الحرارة

وعاء خزان أو مادة صلبة حيث يتم فيه تراكم الحرارة خلال فترة من الوقت للاستخدام عند الحاجة.

36- Heat Transfer fluid مائع الانتقال الحراري

موانع خاصة ذات نقطة تجمد منخفضة والتي تستخدم عادة بدلاً من الماء لنقل الحرارة من خزان المجمع الشمسي إلى خزان الحرارة كوسط أولي.

37- Hour Angle زاوية التوقيت:

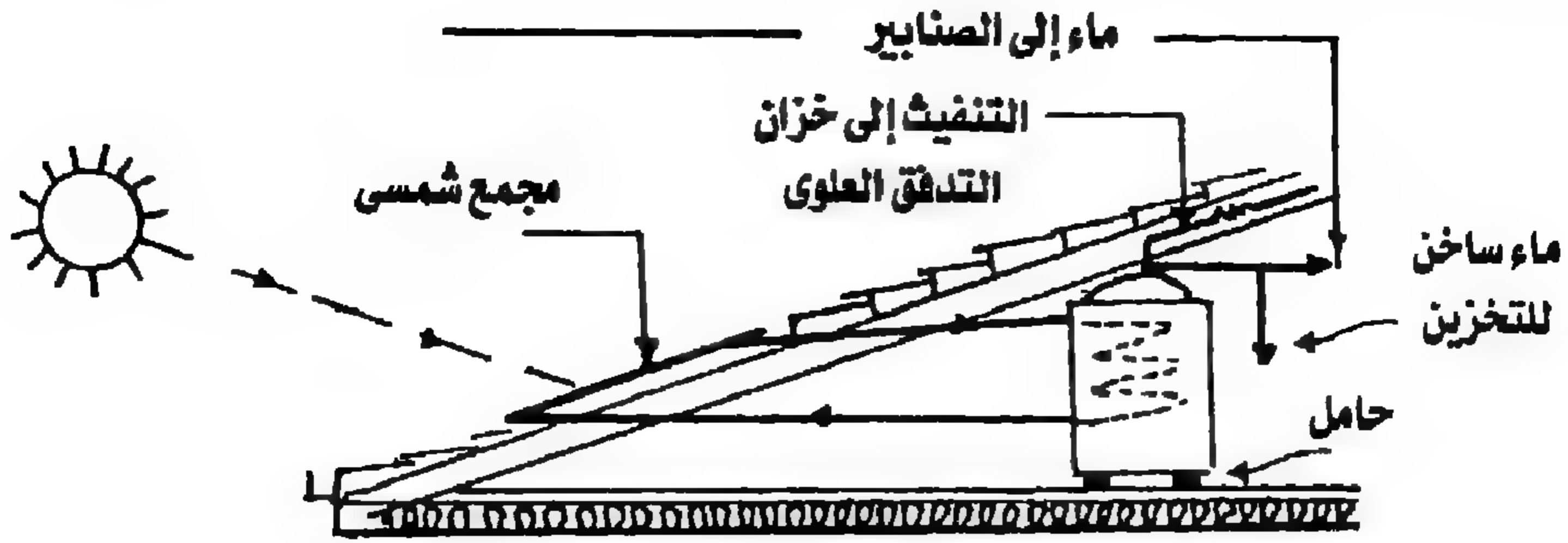
المسافة الزاوية (Angular distance) للشمس من مكانها عند الظهر

$$h = 360/24 \times T$$

T = عدد الساعات لوقت الشمس (Sun Time)، أي ناحية للظهر (الزوال).

38- Inclined surface السطح المائل

سطح تجهيزه المجمع الشمسي المائل بزاوية بالنسبة للمستوى الأفقي أو لأفقي الملاحظ



شكل (6/1) مجمع شمسي بالسطح السائل

39- Infra red تحت الحمراء :

إشعاع طويل الموجة غير مرئي (حرارة)

40- Insolation الإشعاس

الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحة لسطح خلال فترة من الوقت، الوقت التكاملي للتعرض للإشعاع الشمسي (Solar Irradiation).

41- Insulation: عزل

العزل الحراري المستخدم على مصدر الحرارة أو الماسورة لخفض الفقد الحراري أو للحماية ضد التجمد.

42- Irradiation التشعيع أو التعرض للإشعاع

الطاقة الإشعاعية الساقطة على وحدة المساحة على سطح مستوى في وحدة الوقت، عادة تقدر بـ وات/متر مربع أو وحدة حرارية/قدم مربع.

43- Latitude: خط العرض

خط العرض لنقطة على سطح الأرض هو مسافتها الزاوية من خط الاستواء فمثلاً، خطوط العرض للمدن الآتية هو

لندن (51° 30' N)

نيويورك (40° 40' N)

سيدني (33° 52' S)

دلهي (28° 38' N)

44- Local Apparent time (LAT) الوقت المحلي الظاهري:

نظام الوقت الفلكي الذي فيه تعبر الشمس دائماً شمال - جنوب دائرة خط الطول - الزوال عند 12 ظهراً. هذا النظام للوقت يختلف عن الوقت المحلي طبقاً لمنطقة الطول والوقت. الإزاحة المدققة تتغير كذلك مع الوقت من العام.

45- Longitude خط الطول، قوس الطول

الزاوية التي تحدثها دائرة خط الطول (خط التنصيف Meridian) مع خط الطول (خط الزوال) القياسي (عادة عند جرينتش في المملكة المتحدة).

46- Net long wave radiation صافي الإشعاع طويل الموجة

الإشعاع الصافي، باستثناء الإشعاع قصير الموجة الداخل والخارج.

47- Net present value analysis: صافي تحليل القيمة الحالية

تقنية لتحليل اقتصاديات النظم ذات التوقع بطول عمر الاستخدام ، متضمناً عدم حساب فوائد الامتصاص المستقبلي بالنسبة لقيمتهم الحالية واستخدام معدلات فائدة مختارة. الفائدة المقدرة ذات أهمية بالنسبة لنتائج التحليل.

48- Net Radiation الإشعاع الصافي

الفرق بين الإشعاع الكلي القادم والإشعاع الكلي الخارج. الإشعاع القادم يكون من:

أ- الأشعة القصيرة من الشمس ومن السماء.

ب- حراري، أساساً من الطبقات الجوية القريبة من الأرض.

الإشعاع الخارج من السطح يتضمن

أ- الأشعة قصيرة الموجة المنعكسة طبقاً للإشعاع الساقطة وانعكاسية السطح.

ب- الأشعة الحرارية طويلة الموجة طبقاً لدرجة حرارة سطح الأرض وانبعاثية

الموجة الطويلة.

49- Passively Heated solar Building التسخين الشمسي الخامل للمبنى

المبنى حيث المدخل الشمس يتم تخزينه واستخدامه داخلياً بدون مساعدة معدة

ميكانيكية مثل المجمع والطلبة.

50- Pay Back condition

الشرط أو التعاقد الاقتصادي الذي يتطلب أن العمر المتحصل عليه للنظام

(الشمسي) سوف يزيد التكلفة الأولية للنظام (الشمسي) مقسوماً على القيمة السنوية

للوود الذي تم توفيره بإنشاء النظام، مع إهمال كل عائد الفوائد والنظم.

51- PH Value الرقم الهيدروجيني :

جهد الهيدروجين مؤشر يستخدم لمعرفة ما إذا كان الماء متعادلاً، أو حامضياً أو قلوي.

52- Radiation الطاقة الإشعاعية :

الطاقة الإشعاعية الساقطة على سطح لوحدة المساحة خلال فترة معينة (يوم/ شهر، سنة..الخ). عادة تقدر بالميجاجول على المتر المربع (Mega Joules/m² - mi/m²) خلال الفترة المحددة.

53- Radiation (Diffuse) الإشعاع المشتت

الإشعاع المنتشر الساقط على سطح ذو ميل محدد خلال فترة محددة من السماء، وفي حالة السطح المائل، المنعكس من الأرض كذلك.

54- Radiation (Direct) الإشعاع المباشر

الإشعاع من الشمس الساقط على سطح ذو ميل معين خلال فترة معينة القادم (استقبل) من زاوية ضيقة مجسمة متطابقة المحور (centered) على اتجاه الشمس.

55- Radiation (Incident) الإشعاع الساقط :

مجموع الإشعاع المنتشر والمباشر محسوباً نسبياً لجزء من نصف الكرة المساوي المعرض له السطح وكذلك محسوباً قطبياً (vectorially) أي زاوية قطبية، زاوية التوجه.

56- Reflectance الانعكاسية

النسبة بين الطاقة الإشعاعية المنعكسة من السطح إلى الطاقة الإشعاعية الساقطة على السطح.

57- Roll Bond Process عملية اللحام بالدرفلة :

لحام ألواح المعدن معاً بالدرفلة وفي نفس الوقت عملية المعالجة الحرارية.

58- Selective Surface السطح الانتقائي:

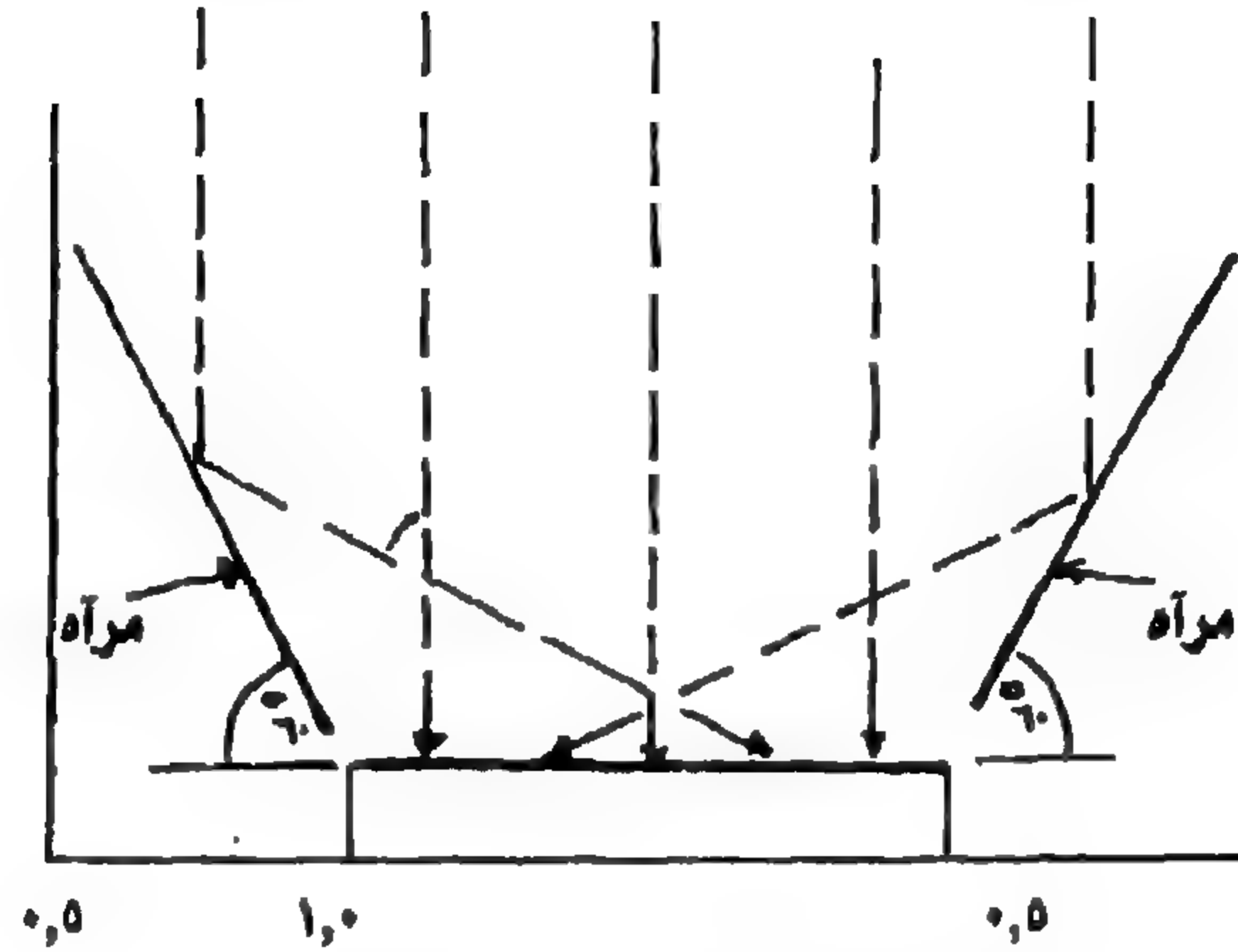
السطح الانتقائي هو السطح الذي له امتصاصية عالية للإشعاع الساقط (أطوال موجة أقل من 1000 نانو متر 1000 nm) وانعكاسية عالية (انخفاض الامتصاصية) في مجال الأشعة تحت الحمراء (ذات أطوال موجة أكبر من 1000 نانو متر).

59- Solar Array مصفوفة شمسية :

عدد من تجهيزات التجميع الشمسي المنفصلة منظمة في إطار معين (لجمع الطاقة الشمسية بكفاءة)

60 - Solar collector (Concentrator) المجمع الشمسي (المركز)

نظام العاكس لزيادة كثافة ضوء الشمس على مساحة معينة.



شكل (7/1) مجمع شمسي

61 - Solar collector (Concentration Ratio):

نسبة التدفق الحراري خلال الصورة، إلى التدفق الحراري الحقيقي الذي استقبل على الأرض، عند سقوط عمودي.

62 - Solar collector (efficiency) كفاءة المجمع الشمسي:

بيان الأداء النسبي أو الخاصة، عادة مبين على مخطط متضمناً التغيرات الهامة المبينة في معادلة (Whilier Bliss Equation)

$$Q = F (\alpha I - U \Delta T) - 2.1$$

حيث :

Q = الحرارة المفيدة التي تم جمعها

F = تأثير الانتقال الحراري.

α = ناتج الانتقال الامتصاصية

I = الإشعاع الشمس الساقط

U = معامل الفقد الحراري

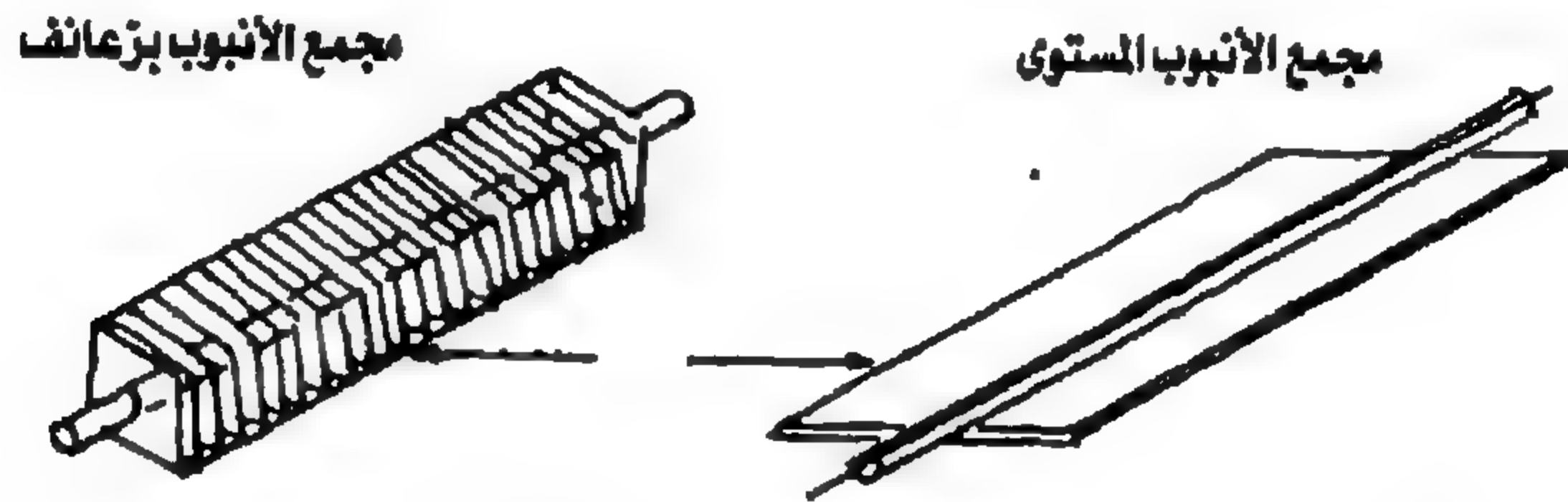
ΔT = فروق درجة الحرارة (متوسط درجة حرارة المجمع - درجة حرارة الهواء العادية).

كفاءة المجمع تتغير من شروق الشمس إلى غروب الشمس وخاصة عندما يكون المجمع من النوع الثابت وليس المتتبع. الزيادة العادية في (ΔT) تؤثر كذلك كثيراً على أداء بعض أنواع المجمعات.

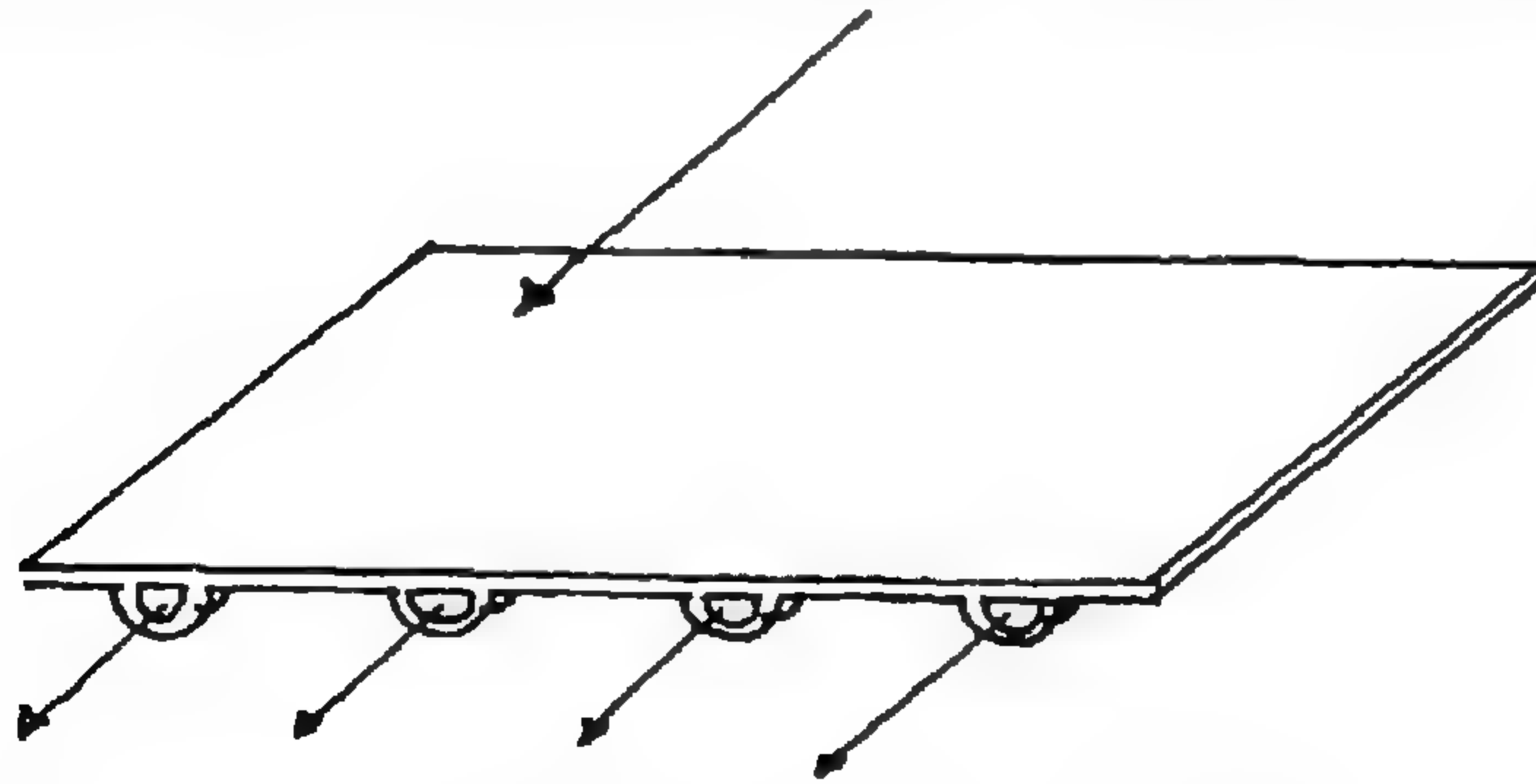
63 - Evacuated Tube Solar collector المجمع الشمسي بالأنابيب المفرغة:

البديل لخفض الفقد الحراري للمجمع باستخدام التفريغ الجزئي خلال الأنابيب الشفافة المنظمة في شكل متوازي فوق لوح المجمع. خلال كل أنبوب يوجد عاد واحد أو أكثر من أنابيب الماص (Absorber tubes).

64 - Solar collector (Flat plate) المجمع الشمسي باللوح المستوي:
أي تجهز للتجميع الشمسي ذات السطح المستوي بدون تركيز أنظر الشكل (8/1) (9/1).



شكل (8/1) مجمع شمسي بالأنبوب بالزعانف والأنبوب المستوي



شكل (9/1) مجمع اللوح المستوي التقليدي

65 - Solar collector (parabolic) المجمع الشمسي (القطع المكافئ)
التجمع الشمسي من نوع التركيز، عادة ينظم في شكل حوضي، وله خط بؤري Line focus.

66 - Solar collector (Paraboloid) مجسم قطع مكافئ، مجسم مكافئ دوراني:

المجمع الشمسي من نوع التركيز الناتج من دوران القطع المكافئ حول محوره. معدل التركيز سيكون مربع ذلك للقطع المكافئ.

67 - Solar collector (Tracking): المجمع الشمسي (التتبع):

كثافة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض عند متوسط المسافة بين الأرض والشمس، تساوي $(1, 353 \text{ KW/m}^2)$ أو $(1.353 \times 10^3 \text{ J/sec/m}^2)$ أو (1.940 min/cm^2) أو (428 but/ft^2) .

68 - Solarimeter : مقياس الإشعاع الشمسي :

جهاز لقياس الإشعاعية الشمسية، شاملاً كل من المكونات المباشرة والمنتشرة. مركب أفقياً، وهو يقيس الإشعاعية الكونية (Global Irradiation).

69 - Solstice انقلاب الشمس (الصيفي أو الشتوي)

الوقت الذي عنده تصل الشمس أقصى ميل، شمالاً أو جنوباً.

70 - Spectral Distribution التوزيع الطيفي :

منحنى الطاقة أو المخطط الذي يبين التغير للإشعاع الطيفي مع أطوال الموجات.

71 - Stop cock حابس التدفق، صنبور زنق

محبس قفل يستخدم لعزل دائرة المياه ولأغراض الصيانة.

72 - (thermal) Stratification تكون الطبقات:

طريقة مستخدمة في نظم التخزين الحراري حيث الماء الساخن الأقل كثافة يطفو إلى أعلا الماء البارد الأكثر كثافة.

73 - Therma-Mechanical حراري - ميكانيكي:

عملية التمدد الحراري أو الانكماش للمعدن أو السائل ذو الحساسية لدرجة الحرارة المستخدم لتشغيل الآلية أو تجهيز التحكم.

74 - Thermostat:

حساس كهربى أو غير كهربى لقياس درجة الحرارة وتغيراتها وتشغيل الدالة المتعلقة بالتحكم.

75 - thermosyphon سيفون حراري:

نظام دوار حيث لا تستخدم طلمبة تدوير. الماء الساخن لكونه أقل كثافة عن الماء البارد، يرتفع إلى أعلا ويستبدل بالماء البارد، في عملية التدوير الطبيعي للماء خلال النظام.

76 - (Transparent reflective surface): سطح شفاف عاكس

طلاء أو تغطية السطح الذي يسمح بمرور الإشعاعات قصيرة الموجة خلاله بينما الأشعة تحت الحمراء (الحرارية) تنعكس.

77 - Ultra violet: فوق البنفسجي:

حزمة من أطوال الموجات الكهرومغناطيسية القريبة من البنفسجي المرئي (0.10nm + 0.38nm) ذات أهمية خاصة في استخدامات الطاقة الشمسية نظراً لأن مختلف المواد الغير محمية يتغير لونها بسبب استقبال الإشعاع فوق البنفسجي، إذا كانت المواد غير مستخدمة، فإنها عندئذ يحتمل أن يحدث لها تلف بسبب التحلل أو التفتت.



الفصل الثانى

الانتقال الحرارى واستخدام
الطاقة الشمسية

1- مقدمة :

لتقدير مقدار، وكفاءة وتكلفة المعدة اللازمة لنقل كمية معينة من الحرارة فى وقت معين، فإنه يجب عمل تحليل الانتقال الحرارى. أبعاد الجامع الشمسي، المبادل الحرارى أو المبرد تعتمد ليس كثيراً على كمية الحرارة المطلوبة نقلها ولكن على المعدل الذى تنقل به الحرارة تحت ظروف خارجية معينة. من وجهة النظر الهندسية، تعيين معدل الانتقال الحرارى عند فرق معين فى درجات الحرارة هو مفتاح المشكلة فى تقدير حجم الجامع الشمسي لتوفير درجة حرارة معينة فى مبنى أو منزل.

الانتقال الحرارى يحدث أساساً بثلاث آليات. الأولى بواسطة التوصيل (Conduction) خلال المواد الصلبة فى وجود فرق فى درجة الحرارة. الثانية هى الإشعاع (Radiation) حيث تتحرك الطاقة فى الفضاء بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية. فى السائل المتحرك، تكتسب جزيئات السائل حرارة أو تفقدها بالتوصيل أو الإشعاع وتحملها بتحريكها من مكان إلى آخر. الآلية الثالثة هى الحمل (Convection). الانتقال الحرارى يمكن تنفيذه بواسطة ظاهرة طبيعية أخرى مثل توليد الحرارة خلال المجال، تكثيف البخار، تبخير السائل.. الخ.

2- التوصيل (Conduction) :

معادلة التوصيل الحرارى الأساسية هى:

$$(1) \quad q = K_x A \frac{\delta T}{\delta x}$$

حيث :

q = معدل الانتقال الحرارى.

K_x = التوصيل الحرارى للمادة فى الاتجاه (x)

A = هى المساحة العمودية فى اتجاه تدفق الحرارة.

$\delta t / \delta x$ = هو التدرج فى درجة الحرارة فى اتجاه سريان الحرارة.

التوصيل الحرارى فى الأسطح الممتدة :

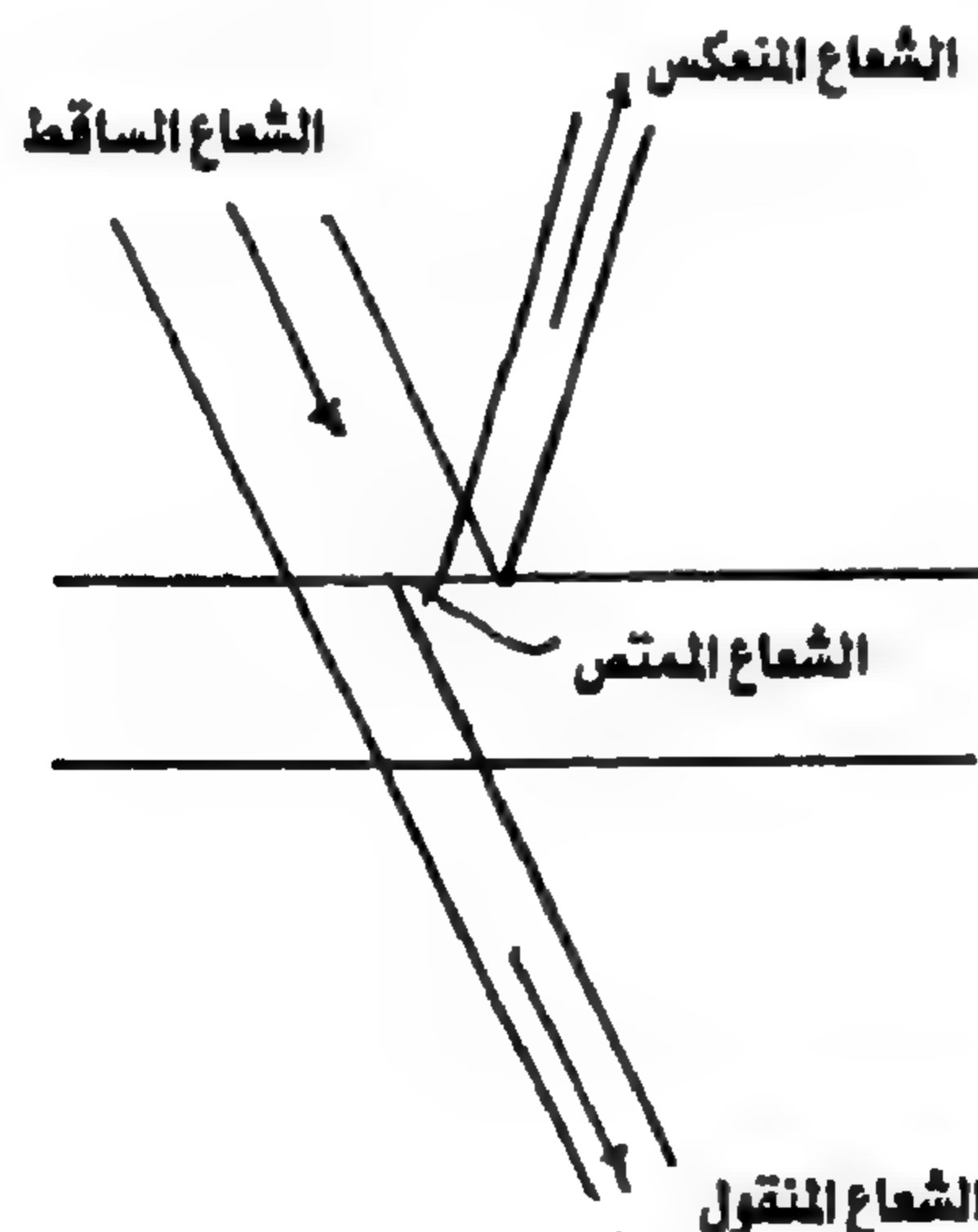
تستخدم الزعانف (Fins) فى بعض الجامعات الشمسية لزيادة سطح الانتقال الحرارى.

3- الإشعاع (Radiation) :

الإشعاع هو العملية التى بها تسرى الحرارة من جسم عند درجة أعلا إلى جسم آخر عند درجة حرارة أقل وذلك فى حالة انفصال الجسمين عن بعضهما فى الفضاء أو حتى فى حالة وجود تفريغ (Vacuum) بينهما. مصطلح الإشعاع يطبق عموماً على كل أنواع ظاهرة الموجات الكهرومغناطيسية، ولكن فى الانتقال الحرارى تكون تلك الظاهرة هى التى تكون نتيجة درجة الحرارة والتى يمكنها نقل الطاقة خلال مجال مثل الهواء أو الفضاء. الطاقة المنقولة بهذه الطريقة تسمى الإشعاع الحرارى (Radiant Heat). الإشعاع هو من أشكال الانتقال الحرارى. الذى تنقل به طاقة الشمس إلى الأرض. كمية الطاقة التى تترك السطح كإشعاع حرارى تعتمد على درجة الحرارة المطلقة وطبيعة السطح. المشع الجيد (Perfect Radiator) الذى يسمى الجسم الأسود (Black Body) يبعث طاقة إشعاعية من سطحه. الأجسام الحقيقية لا ينطبق عليها صفات المشع المثالى وتبعث إشعاع بمعدل أقل عن الأجسام السوداء. نسبة انبعاث الإشعاع من الجسم الحقيقى إلى انبعاث الإشعاع من الجسم الأسود عند نفس درجة الحرارة يسمى الانبعاث (Emittance).

استقبال الطاقة الإشعاعية :

الإشعاع الساقط على سطح الجسم يمكن أن يحدث له امتصاص جزئى وانتقال جزئى وانعكاس جزئى كما هو موضح فى الشكل (2/1).



شكل (1/2) إجمالى الاشعاع المستخدم فى طرق مختلفه

الجزء الممتص من الإشعاع الساقط يسمى الامتصاصية (Absorptivity) (α) وبالمثل القسم من الإشعاع الساقط المنعكس يسمى الانعكاسية (P) والقسم المنقول يسمى الانتقالية (Transmissivity) (T^{τ}). إذا كانت الإشعاعات الكلية الساقطة فى وحدة الزمن على وحدة المساحة من السطح هي (I)، وكلا من I_{α} , I_p , I_{τ} تمثل كمية الإشعاع على التوالي الممتصة والمنعكسة والمنقولة عند

$$\alpha = \frac{I_{\alpha}}{I}$$

$$p = \frac{I_p}{I}$$

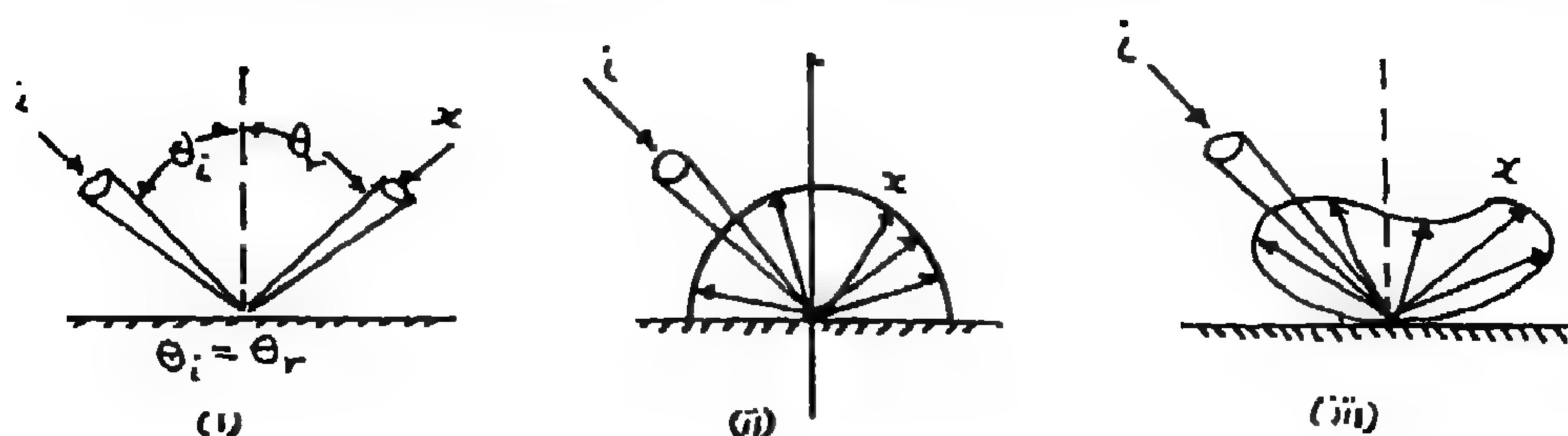
$$\tau = \frac{I_{\tau}}{I}$$

العلاقة فى المعادلة السابقة تنطبق على الأسطح أو الطبقات ذات السمك المحدد. يجب ملاحظة النقاط الآتية:

- (i) قيم α , p , τ دائماً موجبة وتقع ما بين الحدود صفر، واحد أى
- (ii) $P = \text{صفر}$ (أى $1 = \alpha + t$) يمثل سطح غير عاكس
- $P = \text{واحد}$ (أى $\alpha = t = \text{صفر}$) تمثل سطح عاكس جداً.
- $T = \text{صفر}$ (أى $1 = \alpha + p$) يمثل سطح معتم وغير منفذ للضوء.
- $P = \text{واحد}$ (أى $\alpha = p = \text{صفر}$) يمثل سطح شفاف جداً
- $\alpha = \text{صفر}$ (أى $1 = t + p$) يمثل سطح غير ماص (كذلك يسمى السطح الأبيض إذا كان ينشر الضوء)
- $\alpha = \text{واحد}$ (أى $p = t = \text{صفر}$) يمثل سطح ماص جيد (يسمى كذلك السطح الأسود إذا كان ينشر الضوء).

4- الانعكاس (Reflectivity) :

سوف نتناول انعكاسية السطح المعتمد الغير منفذ للضوء (Opaque) (أى $t = \text{صفر}$) والسطح النصف شفاف (Translucent) (أى $\text{صفر} < t < 1$) انعكاسية السطح المعتم تتوقف ليس فقط على درجة الحرارة وخواص الأسطح ولكن كذلك على طول الموجة واتجاهها للإشعاع الساقط والمنعكس. طبقاً لطبيعة الإشعاع المنعكس، الأسطح المعاكسة يمكن تقسيمه إلى إما ناشر (Diffuser) أو براق أو ذو سطح أملس عاكس (Specular) شكل (2/2).



شكل (2/2) انواع الاشعاع

يسمى السطح عاكس ناشر إذا كانت كثافة الإشعاع المنعكس ثابتة، لكل زوايا الانعكاس وتتوقف على اتجاه الإشعاع الساقط. على الجانب الآخر يسمى السطح أنه سطح عاكس إذا كانت الأشعة الساقطة والمنعكسة تقع متماثلة بالنسبة للعمودى نحو السطح عند نقطة السقوط والإشعاع المنعكس يكون محتويًا فى زاوية مجسمة (Solid Angle) مساوية للزاوية المجسمة للإشعاع الساقط. السطح الخشن يسلك كثيرًا مثل العاكسات الناشرة (Diffuse reflectors) أكثر منه كالعاكسات العاكسة (Specular). لا يوجد سطح حقيقى إما ناشر جيد أو عاكس جيد، لذلك فإن تلك الفرضيات المثالية عادة يؤخذ بها لتبسيط الحسابات.

فى أعمال الإشعاع عادة يعمل السطح الناشر على نحو مثالى. السطح الذى يعكس كل الطاقة الساقطة (حيث $P = 1$)، يسمى سطح أبيض، (White Surface). بالمثل، إذا كانت $P = 0$ صفر فإن السطح يكون غير عاكس. إذا كان بالإضافة إلى أن $P = 0$ صفر، $T = 0$ كذلك عندئذ $\alpha = 1$ واحد، ويكون لدينا سطح معتم. السطح الذى يمتص كل الطاقة الساقطة يسمى السطح الأسود (Black Surface). هذا الجسم يعرف بأنه الذى يمتص كل الطاقة الساقطة عليه ولا يعكس شئ. مثل هذا الجسم يستخدم بكثرة فى انتقال الإشعاع الحرارى كجسم مثالى الذى به يمكن مقارنة خواص الإشعاع للأجسام الحقيقية. الدور يشبه الدور الذى تلعبه دورة كاربونث المثالية للديناميكا الحرارية التى يمكن بها مقارنة كفاءة دورات الديناميكا الحرارية الحقيقية.

أ- الانعكاسية للمواد النصف شفافة :

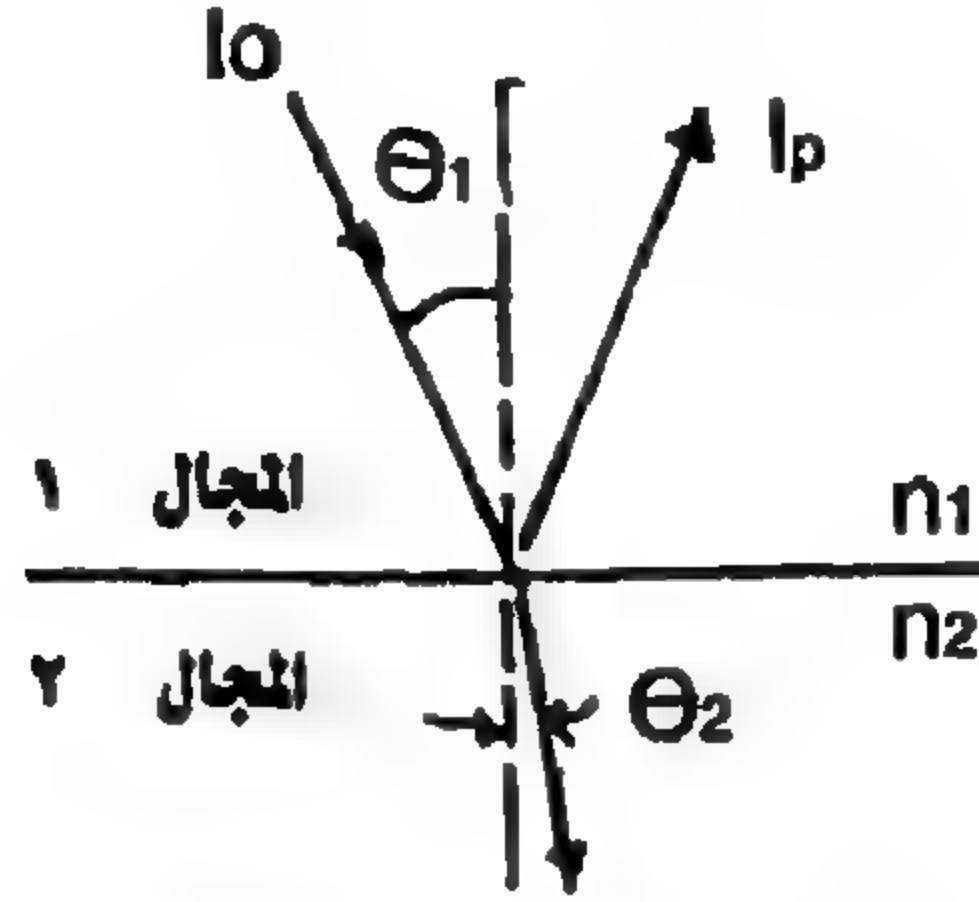
Reflectivity of translucent materials:

نظراً لأنه فى معظم الاستخدامات سيكون هناك لوح من المواد له وجهين، والانعكاس عند كلا الوجهين يجب أن يؤخذ فى الاعتبار. هذا إلى أن المشكلة تصبح معقدة بحقيقة أن الإشعاع يحدث له العديد من الانعكاس عند كلا الوجهين تلك.

الانعكاس عند الأسطح البينية: (Reflection at Inter faces)

لقد أوجد (fresnel) العلاقة لانعكاس الإشعاع الغير استقطابى (Non Polarized radiation) عند المرور من مجال إلى آخر الشكل (3/2).

$$(1) \frac{IP}{Io} = P = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \right]$$



الشكل (3/2) زوايا السقوط والانعكاس فى وسطين

حيث θ_1 = هى زاوية السقوط

θ_2 = هى زاوية الانحراف بالانكسار (Angle of refraction)

المقادير بين قوسين تمثل الانعكاس لكل من مكونين الاستقطاب. الزاوية θ_1, θ_2 مرتبطين بمعاملات الانحراف الانكسارى.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

لذلك فإنه فى حالة معرفة زاوية السقوط والانكسار من العلاقات السابقة فإنه يمكن حساب الانعكاسية عند سطح بينى واحد للإشعاع عند السقوط العمودى.

$$\theta_1 = \theta_2 = \text{صفر}$$

فى حالة جمع الشكل (2/2) ، (3/2) لإعطاء

$$P = \frac{IP}{Io} = \left[\frac{(n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)} \right]^2$$

5- الانتقالية : (Transmissivity)

الانتقالية مثل الانعكاسية والامتصاصية هو دلالة لطول الموجة وزوايا السقوط للإشعاع القادم. المتغيرات الأخرى ذات التأثير على الانتقال هى معامل الانكسار (n) ومعامل الانطفاء (K) (Extinction coef) للمجال ولكن يمكن القول أن كلا من (K) ، (n) هما كذلك دلالات لطول الموجة (λ).

السطح بانتقالية τ = صفر يعرف بأنه السطح المعتم. لمثل هذه الأسطح فإن مجموع الامتصاصية والانعكاسية يجب أن يساوى واحد. ولكن إذا كانت $\tau = 1$ فإن المجال يكون شفافاً تماماً. معظم المواد الحقيقية هي شفافة جزئياً فقط حيث صفر $1 < \tau < 1$.

الانتقالية في المواد الشفافة نسبياً (Translucent) تتوقف على كل من الانعكاس والامتصاص للإشعاع. المشكلة يتم تناولها في مرحلتين.

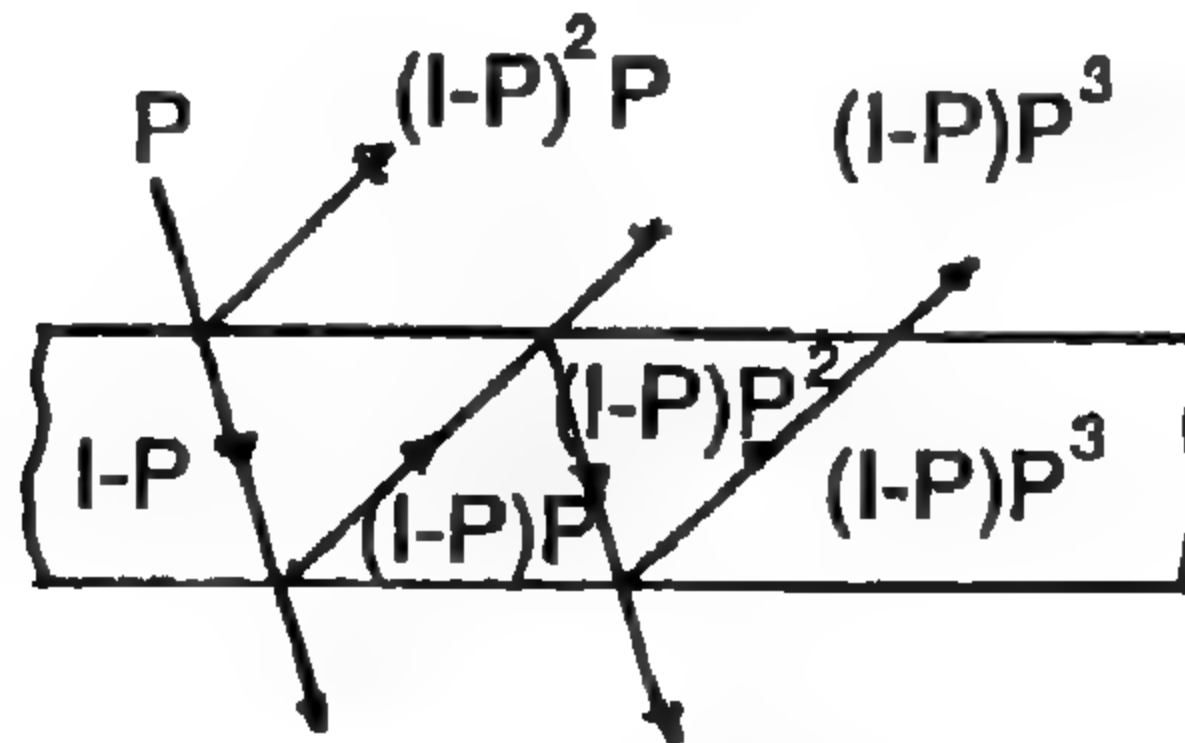
- (i) الانتقالية (τ_p) يتم أولاً حسابها مع اعتبار الانعكاس فقط.
 - (ii) الانتقالية (τ_a) يتم عندئذ حسابها مع اعتبار الامتصاص فقط.
- الانتقالية (τ)، باعتبار كلا من الانعكاس والامتصاص هي كالاتي:

$$\tau = \tau_p, \tau_a$$

وقد وجد أن تلك المعادلة السابقة هي علاقة كافية لتصميم الجامعات الشمسية.

حساب (τ_p):

مواد التغطية المستخدمة في التطبيقات الشمسية تتطلب انتقال الإشعاع خلال طبقة من المادة ولذلك يوجد سطحين تقابل لكل غطاء لتسبب فقد الانعكاس. في هذه الحالة، فإن نضوب واستنزاف الشعاع عند السطح الثانى هو نفسه مثل ذلك عند الأول، لكل مكون للاستقطاب، بفرض أن أسطح التغطية هي مع الهواء على كلا الجانبين. مع إهمال الامتصاص في الطبقة كما هو موضح في الشكل (4/2)، ومع اعتبار وحدة شعاع واحد ساقطة، وأن $(1-P)$ من الشعاع الساقط تصل إلى السطح الثانى. لهذه $(1-P)^2$ يمر خلال تلاقى الوجهين، $P(1-P)$ تنعكس نحو الأول وهكذا. يجمع النتائج، فإن الانتقالية لغطاء واحد مع إهمال الامتصاص هي:



شكل (4/2) الانتقال خلال غطاء واحد

$$\begin{aligned} \tau_{p,1} &= (1-P)^2 + (1-P)^2 P^2 + (1-P)^2 P^4 + \dots \\ &= (1-P)^2 (1 + P^2 + P^4 + \dots) \end{aligned}$$

$$= (1 - P)^2 \sum_{n=0}^{\infty} P^{2n} = (1 - P) \frac{1}{1 - P^2}$$

وبطريقة مشابهة يمكن توضيح أنه لنظام ذو أغطية (n)، الكل هو من نفس المادة

$$\tau_{p,n} = \frac{1 - P}{1 + (2n - 1)P}$$

حساب T_α :

امتصاص الإشعاع في مواد شفافة نسبياً يوصف بقانون (Bouger)

$$dI = -K I dx$$

حيث dI هي النقصان في كثافة الإشعاع، I هي القيمة المحلية للكثافة، (K) هي معامل النضوب، و x المسافة التي يقطعها الإشعاع. مع فرض أن (K) لتكون ثابتة في مجال (λ) للطيف الشمسي. فإنه يمكن تكامل المعادلة السابقة لإعطاء

$$\int_0^L \frac{-dI}{I} = K \int_0^L dx$$

$$[\text{Log} I]_0^L = [-Kx]_0^L$$

$$\text{Log} I_L - \text{log} I_0 = -KL \quad \text{أو}$$

$$\text{Log}(I_L / I_0) = -KL \quad \text{أو}$$

$$\frac{I_L}{I_0} = e^{-KL} \quad \text{أو}$$

$$\tau_\alpha = \frac{I_L}{I_0} = e^{-KL} \quad \text{أو}$$

لاحظ أن (τ_α) هي الانتقال مع اعتبار الامتصاص فقط، (L) هي المسار الحقيقي للإشعاع خلال المجال

$$T_\alpha = e^{-nKL} \quad (n) \text{ بالنسبة للأغطية}$$

عندما تكون زاوية الانكسار θ_2 هي

$$T_\alpha = e^{-nKL/\cos \theta_2}$$

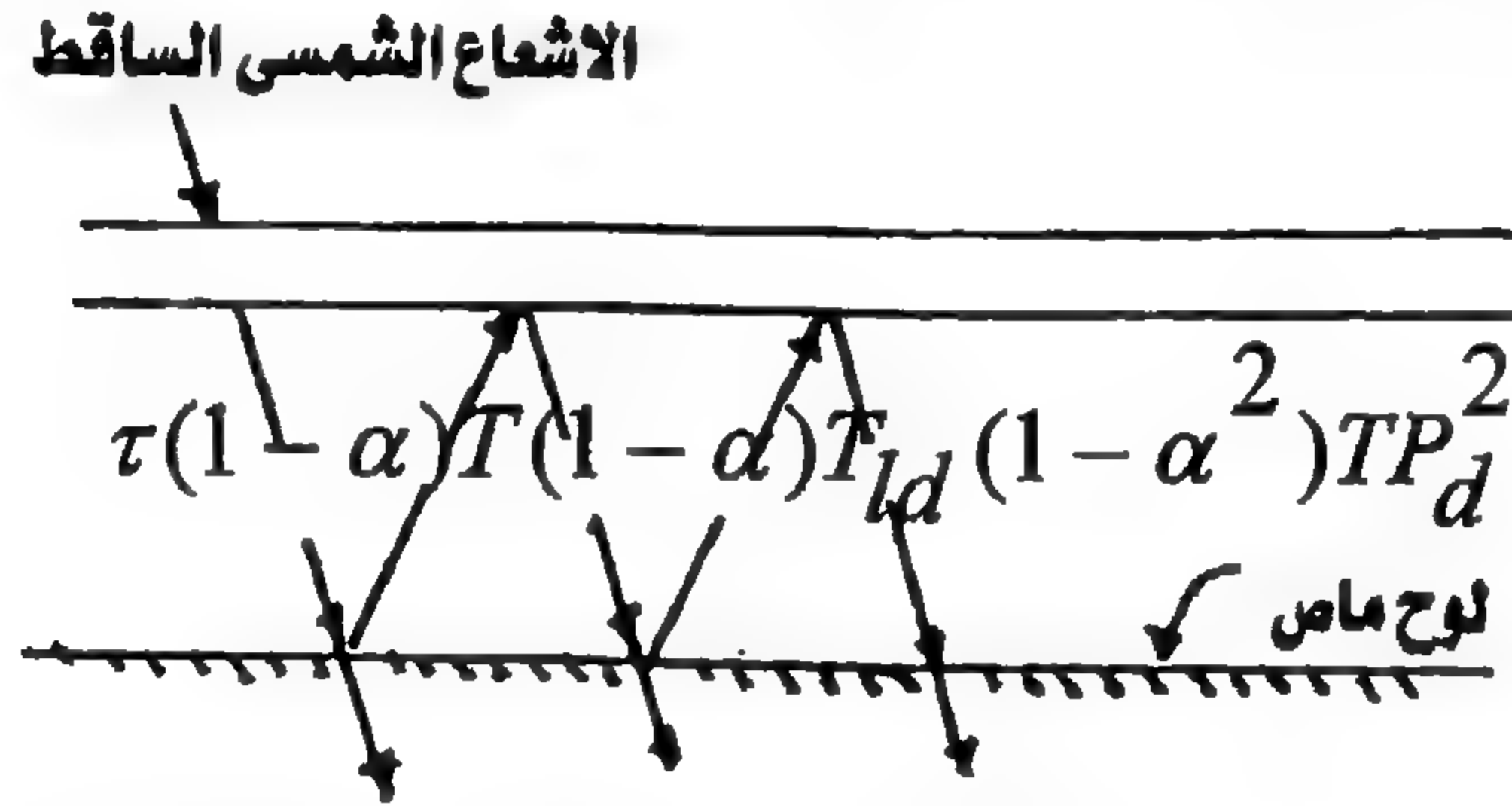
قيمة K للزجاج تتغير من حوالى 0.01/سم للزجاج الرائق جداً والذي يسمى (White glass) إلى 0.32/سم للزجاج ذوى النوعية المتدنية. لاحظ أن T_α هي الانتقال مع اعتبار الامتصاص فقط و (L) هي المسار الحقيقي للإشعاع خلال المجال.

والآن فإن الانتقال الذى يسمى لكل الانعكاس والامتصاص يمكن الحصول عليه بالمعادلة.

$$\tau = \tau_p, \tau\alpha$$

نتائج الانتقال - الامتصاص

لتحليل المجمع الشمسي، يكون من الضروري تقييم ناتج الانتقال - الامتصاص (T , α) للإشعاع المار خلال نظام الغطاء وساقط على اللوح، البعض ينعكس مرتداً إلى نظام الغطاء. ولكن، كل هذا الإشعاع لا يسقط نظراً لأن بعضه ينعكس ثانياً نحو اللوح. هذا موضح في الشكل (5/2)، حيث (τ) هي الانتقال لنظام الغطاء كما يمكن معرفته من المعادلة ($\tau = \tau_p, \tau\alpha$)، α هي الامتصاص الزاوى (Angular Absorptance) للوح المص τ . α تمتص بواسطة لوح الامتصاص و $(1 - \alpha)t$ ، تنعكس ثانياً نحو أنظمة الغطاء.



شكل (5/2) امتصاص الإشعاع الشمسي باللوح الماص

الانعكاس من اللوح الماص يحتمل أن يكون أكثر انتشاراً عن العاكس بحيث أن الجزء $(1 - \alpha)t$ الذى يسقط على لوح الغطاء هو إشعاع انتشار و $(1 - \alpha)t.Pd$ تنعكس ثانياً نحو اللوح الماص.

كمية Pd تشير إلى انعكاس اللوح الماص لإشعاع الانتشار الساقط الذى يمكن أن يستقطب جزئياً إلى انعكاسات عند مروره خلال نظام الغطاء.

لذلك فإن نتيجة الجمع هي

$$\begin{aligned} \langle \tau\alpha \rangle &= \tau\alpha + \tau\alpha (1 - \alpha)pd + \tau\alpha (1 - \alpha)^2pd^2 \\ &\quad + \tau\alpha (1 - \alpha)^3pd^3 + \dots \\ &= \tau\alpha [1 + (1 - \alpha)pd + (1 - \alpha)^2pd^2 + (1 - \alpha)^3pd^3] \end{aligned}$$

$$= t\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)pd]^n = t\alpha \frac{1}{1-(1-\alpha)pd}$$

$$= \frac{t\alpha}{1-(1-\alpha)pd}$$

بسبب الانعكاس فإن $\langle t\alpha \rangle$ سوف تكون أكبر من $t\alpha$ لزاوية سقوط 60° ، Pd ، تقريباً تكون 0.16 ، 0.24 ، 0.29 ، 0.32 لواحد، اثنين، ثلاث، أربع زجاجات على التوالي.

الإشعاع الممتص فى نظام غطاء الزجاج ليس مفقوداً كلية للنظام. مع الارتفاع القليل فى درجة الحرارة للأواح الغطاء يساعد فى خفض معدل الفقد العلوى للحرارة من لوح الجمع. هذا الخفض فى فقد المجمع يرجع إلى الامتصاص فى الغطاء يمكن أن يكون تقليدياً بفكر الزيادة الصناعية فى الانتقال. هذا يسبب المصطلح "الانتقال المؤثر" أو نتائج الانتقال المؤثر - الامتصاص، $(t\alpha)e$ يتم حسابها من المعادلة التالية:

$$(t\alpha)e = (t\alpha) + (1 - e^{-K_1 L_1}) + a_2 T_1 (1 - e^{-K_2 L_2}) + a_3 T_2 (1 - e^{-K_3 L_3})$$

حيث (a's) هى ثوابت ورقم الحرف 1, 2, 3 يشير إلى الطبقات الأولى (الخارجية)، الثانية، الثالثة ... الخ لنظام الغطاء الشفاف.

5- الحمل الحرارى (Convection)

الحمل الحرارى هو العملية التى تنقل الحرارة من منطقة إلى أخرى بحركة السائل. معدل الانتقال الحرارى بالحمل الحرارى (q_c) بين سطح وسائل يمكن حسابه من العلاقة

$$q_c = h_c A (T_s - T_f)$$

حيث:

$$q_c = \text{مساحة قاعدة الانتقال الحرارى بالحمل الحرارى بالمتر المربع (م}^2\text{)}$$

$$T_s = \text{درجة حرارة السطح } ^\circ\text{م}$$

$$T_f = \text{درجة حرارة السائل } ^\circ\text{م.}$$

h_c = معامل الانتقال الحرارى بالنقل الحرارى كيلو كالورى/ الساعة متر مربع درجة مئوية.

المقاومة الحرارية للانتقال الحرارى بالحمل الحرارى، R_c طبقاً للمعادلة.

$$R_c = 1/h_c A$$

الانتقال الحرارى واستخدام الطاقة الشمسي

سطح مجمع الطاقة الشمسية يفقد حرارة بألية الحمل الحرارى والإشعاع نحو المجال المحيط. المعدل الإجمالى للانتقال الحرارى q طبقاً للمعادلة

$$q = q_r + q_c = \frac{T_{coll} - T_{out}}{R_{cr}}$$

حيث :

R_{cr} = مجموع المقاومة لكلا الآليتين، الحمل الحرارى والإشعاع اللذان يعملان بالتوازي.

T_{coll} = متوسط درجة الحرارة لسطح المجمع

T_{out} = درجة حرارة الهواء الخارجى

الحمل الحرارى الطبيعى بين أسطح متوازية مستوية:

معدل الانتقال الحرارى بين لوحين مائلين بزاوية ما نحو الأفقى له أهمية كبيرة فى كفاءة مجمعات اللوح المستوى.

6- المبادلات الحرارية:

انتقال الحرارة من حمام ساخن إلى سائل يسرى خلال الحمام هو عملية هامة فى استخدام الطاقة الشمسية، فمثلاً، الحمام الساخن يمكن أن يكون اللوح الماص (Absorber Plate) لإطار التسخين الشمسى والسائل الذى يسرى عبر اللوح يمكن أن يكون سائل النقل المستخدم لاستخلاص الحرارة. النظام اللازم وضعه هنا يسمى المبادل الحرارى وحيد التيار. أى (Single current Heat Exchanger) لتبسيط الأمور، سوف نفترض أن درجة حرارة الحمام (T_B) تظل ثابتة. يتكون المبادل الحرارى من ماسورة مغمورة فى الحمام الساخن. يدخل السائل الماسورة عند درجة حرارة دخول (T_{fi})، ويترك عند المخرج عند درجة حرارة (T_{fe}) المعدل الذى به يتم استخلاص الحرارة بواسطة سائل هو

$$Q = mC_f (T_{fe} - T_{fi})$$

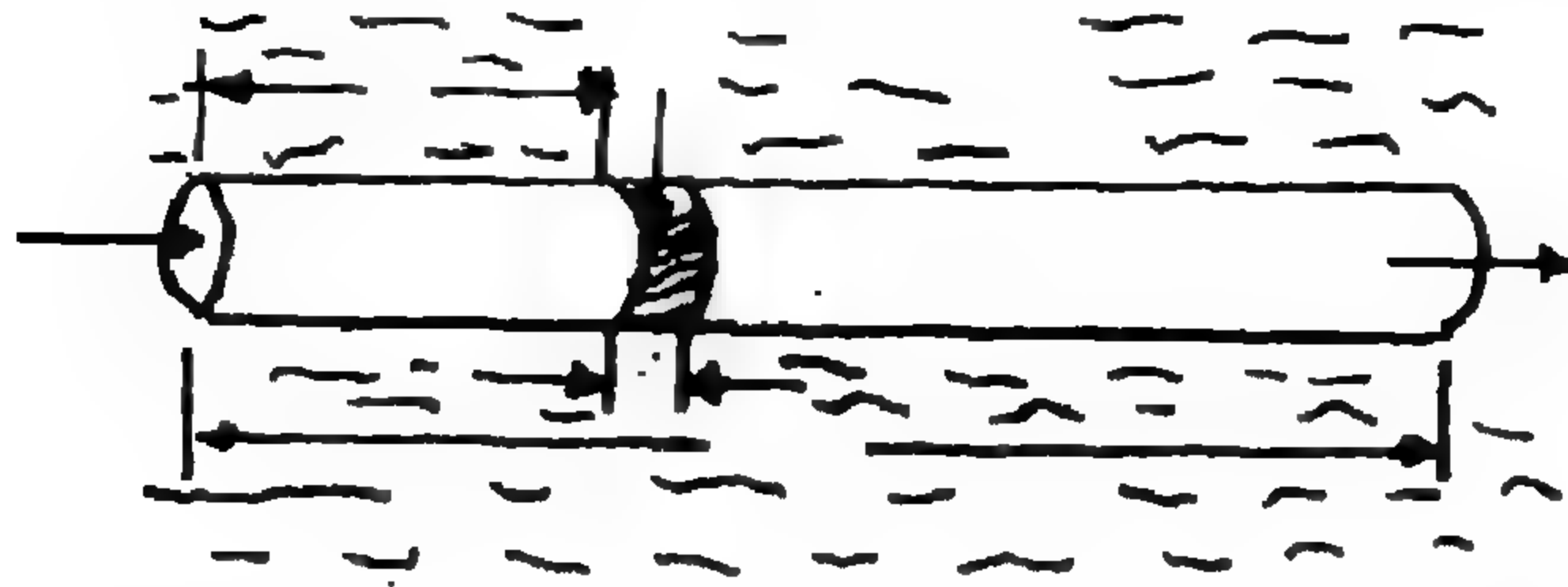
حيث:

M = معدل تدفق الكتلة.

C_f = الحرارة النوعية للسائل

إذا كانت كلا من (m) ، (C_f) مقدرة بـ كجرام/ثانية، جول كيلو جرام 5 م على التوالى، فإن معدل الاستخلاص سيكون بالوات.

لإيجاد درجة حرارة المخرج ومعدل الاستخلاص لدرجة حرارة دخول معينة ومعدل تدفق معين، فسوف نتناول جزء من ماسورة شكل (6/2)



شكل (6/2) الاتصال الحرارى من الحمام الساخن إلى عنصر مائع متدفقاً في ماسورة أنبوب مياه حرارى معدل الانتقال الحرارى من الحمام إلى السائل خلال الجزء dt هو

$$dQ = U_L(T_B - T) dI$$

حيث U_L = معامل الانتقال الحرارى لوحدة الطول للماسورة

T = درجة حرارة الجزء فى حالة الثبات.

باستخدام المعادلة السابقة، يمكن تقدير الزيادة فى درجة الحرارة للسائل عند عبورة ذلك العنصر.

$$dQ = mC_f dT = U_L (T_B - T) dI$$

$$\frac{dT}{T_B - T} = \frac{U_L}{mC_f} dI \quad \text{أو}$$

إذا كانت درجة حرارة الحمام هى نفسها فى كل مكان على طول الماسورة، وإذا كانت (C_f) , (U_L) يمكن تقريبهم ليكونا ثابتين على طول الماسورة، فإن العلاقة السابقة يمكن تكاملها لإعطاء.

$$\ln \frac{(T_B - T_{fe})}{(T_B - T_{fi})} = \frac{U_L \cdot L}{mC_f}$$

$$T_{fe} = T_B - (T_B - T_{fi}) e^{-U_L \cdot L / mC_f}$$

استبدال هذه النتيجة إلى المعادلة السابقة $Q = mC_f (T_{fe} - T_{fi})$ فإننا نجد

$$Q = mC_f (T_B - T_{fi}) (1 - e^{-U_L \cdot L / mC_f})$$

العلاقات الموضحة فى المعادلتين السابقتين تكون صحيحة وفعالة شريطة أن U_L تكون ثابتة على طول الماسورة وعلى درجة الحرارة، السرعة ونوع السائل المستخدم فى الماسورة. بالنسبة لسرعة سائل دون القيمة الحرجة فإن التدفق سيكون رقائقي

الانتقال الحرارى واستخدام الطاقة الشمسي

(Laminar)، والذي يعنى أن السائل سوف ينزلق فى طبقات أسطوانية متحدة المركز خلال الماسورة. الانتقال الحرارى ليس كفى تحديداً، U_L تكون صغيرة. عندما تزيد سرعة السائل عن القيمة الحرجة، فإن تدفق السائل يصبح مضطرب (Turbulent) ويبدأ التحرك بعنف واضطراب (Churn)، وبذا زيادة قيمة (U_L) .
السرعة الحرجة تتحدد بواسطة رقم رينولد الذى هو

$$Re = \frac{VDP}{\mu}$$

حيث V, P, μ هم السرعة، الكثافة، اللزوجة للسائل على التوالي، D هو قطر الماسورة. فى الماسورة الناعمة الطويلة، التدفق الرقائقى (Laminar) ينتج عندما تكون $Re < 2000$ ويبدأ التدفق المضطرب عند $Re > 2000$. بالنسبة لسائل معين ومعادلة الماسورة (معادلة رقم رينولد) يمكن حلها للسرعة الحرجة. بينما الاضطراب يزيد من الانتقال الحرارى، فإنه كذلك يزيد مقاومة الماسورة لتدفق السائل.
للتبسيط سوف نعتبر قيمة ثابتة لـ (U_L) للمبادل.

مثال 1:

ماسورة طويلة ملفوفة بطول 3 متر بها ماء ($C_f = 4185 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$) بمعدل 0.01 كجرام/الثانية. درجة حرارة الماء الداخلى هي 10°C وجدران الماسورة تظل عند 50°C . التدفق منتظم رقائقى ومتوسط معامل الانتقال الحرارى (U_L) هو $6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. أوجد درجة حرارة الماء عند خروجه وعين معدل استخلاص الحرارة.
لذلك أحسب المعايير السابقة لخفض المعدل إلى 0.005 كيلو جرام/الثانية.

الحل:

من المعادلة نرى

$$\begin{aligned} T_{f,e} &= T_B - (T_B - T_{fi}) e^{-U_L L / m C_f} \\ &= 50 - (50 - 10) e^{-6 \times 3 / 0.1 \times 4186} \\ &= 50 - 40 e^{-18/41.86} \\ &= 50 - 40 \times 0.65 \\ &= 50 - 25 \\ &= \underline{24^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

ومعدل الاستخلاص الحرارى

$$Q = m C_f (T_{fe} - T_{fi})$$

$$= 0.01 \times 4186 \times (24-10)$$

$$= 576$$

وللحالة الثانية

$$T_{fe} = 50 - (50 - 10)e^{-180.005 \times 4186}$$

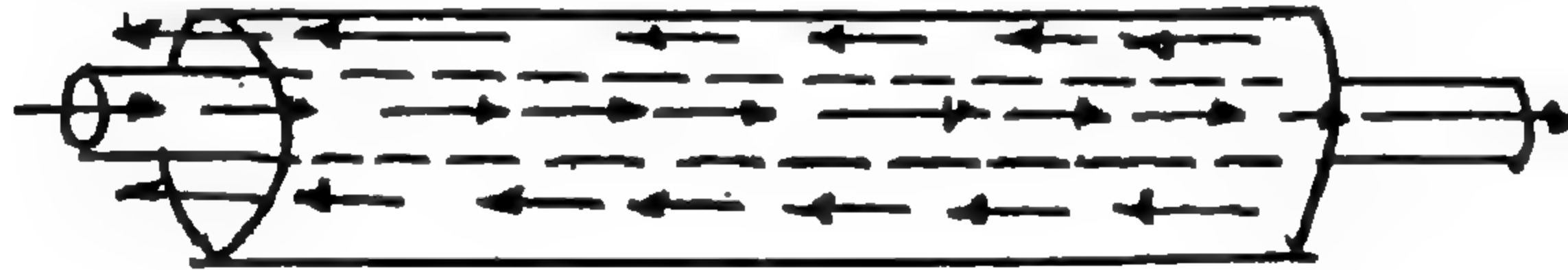
$$= 330C$$

$$Q = 0.005 \times 4186 (33-10)$$

$$= 482$$

من المثال السابق نرى أنه مع خفض المعدل الذى يتدفق به السائل فى مبادل حرارى وحيد التيار فإن درجة حرارة الخروج تزداد، ولكن، معدل تجميع الحرارة يقل. هذه الظاهرة كما سنرى فى الفصل الخامس بالتسخين الشمسى للمياه، تلعب دوراً هاماً فى عملية التسخين الشمسى الإشعاعى مع خفض معدل التدفق لسائل النقل خلال التدفئة الشمسية الإشعاعية، فإننا نزيد درجة حرارة المخرج ولكن نقتل من معدل تجميع الحرارة.

يكون عادة المطلوب انتقال الحرارة من سائل ساخن إلى سائل أبرد وذلك بالسماح للسائلين للتدفق خلال كل منهما الآخر. ويتم ذلك عادة بالسماح للسوائل بالتدفق فى الاتجاه المعاكس فى منطقة منفصلة للمواسير متحدة المركز شكل (7/2).



شكل (7/2)

هذه التجهيزة تعرف بالمبادل الحرارى ذو التدفق المعاكس. يمكن معرفة أن معدل الانتقال الحرارى للماسورة بطول L هو كالتالى:

$$Q' = U_L \cdot L \left\{ \frac{(T_h - T_h') - (T_c - T_c')}{\ln[(T_h - T_h') / (T_c - T_c')]} \right\}$$

$$= U_L \cdot L \cdot \text{LMDT}$$

$$= UL' \cdot \text{LMDT}$$

$$UL' = U_L \cdot L$$

حيث:

هنا U_L هي معامل الانتقال الحرارى المؤثر لوحدة الطول T_C, T_h, T_h, T_C تشير إلى درجات الحرارة الساخنة والباردة للسوائل الداخلة والخارجة من المبادل الحرارى. الكمية بين القوسين تسمى لوغاريتم متوسط الفرق في درجة الحرارة (LMTD - Log Mean temperature Difference) فى المبادل.

الفصل الثالث

تحليل الاشعاع الشمسى

1- بنية الشمس (Structure of the Sun)

الشمس عبارة عن كرة من المادة الغازية عالية السخونة، متولدة الحرارة باستمرار بتفاعلات الاندماج النووي الحرارى، الذى يحول ذرات الهيدروجين إلى ذرات الهليوم. هذه الطاقة يتم إشعاعها من الشمس فى كل الاتجاهات وجزء صغير جداً منها يصل إلى الأرض. أنه بالنسبة لاستخدام هذا الجزء الصغير من إجمالى الطاقة الشمسية التى تصل إلى الأرض سوف يكون حديثنا.

طاقة الاندماج (Fusion Energy) هى الطاقة النووية المنطلقة بالاندماج (أو الجمع) لنوتين خفيفتين (أى نويات ذات رقم كتلى منخفض) لإنتاج نواة أثقل. الاندماج نويتين فإنه يجب أن يقتربا من بعضهما بما يمكن من التفاعل. ولكن الشحنات المتماثلة تتنافر، ونظراً لأن كل النويات تحمل شحنة موجبة، فإن قوة التنافر الزائد تحدث عند اقتراب النويتين من بعضهما. ولذلك، لحدوث الاندماج النووي، فإنه يجب أن يكون للنويات الطاقة الحركية الكافية للتغلب على قوة التنافر الكهربائية التى تجعلها منفصلين. لتقليل قوة التنافر وبذلك تسهيل الاندماج، فإن نويات التفاعل يجب أن يكون لها شحنات موجبة صغيرة (أى أرقام ذرية صغيرة). عنصر الهيدروجين له أدنى رقم ذرى، ذلك لأن النويات لنظائره الثلاث كلها تحمل شحنة موجبة واحدة. لذلك، فإن نظائر الهيدروجين التى لها كذلك نويات خفيفة، تصبح مناسبة لإنتاج الطاقة باندماج نويتين خفيفتين لتكوين نواة أثقل.

الأرض تستقبل طاقة إشعاعية من الشمس البعيدة والتى هى كتلة ساخنة من غازات الهيدروجين والهليوم بنسبة 1:3 وفى الشمس، يتم توليد الطاقة فى لبها المركزى الذى يمكن اعتباره كمفاعل نووى ضخم. الطاقة المنطلقة تكون طبقاً للتفاعل الآتى:



الطاقة من التفاعل السابق تنتج من حقيقة أن أربعة بروتونات لها كتلة غير متحدة 4.0304 وكتلة نواة الهليوم هى 4.0027. لذلك 0.277 وحدات كتلة المادة تحولت إلى طاقة طبقاً للطاقة (E)، الكتلة (m) والعلاقة بينهما ($E = mc^2$) طبقاً لمعادلة اينشتاين، حيث C سرعة الضوء. إنها تلك الطاقة التى تتدفق باستمرار خارج الشمس، جزء الطاقة الذى يتقاطع مع الأرض يمر خلال عمليات طاقة أرضية لاستمرار الحياة والنشاط.

الخواص الرئيسية للشمس هى :

$$\text{الكتلة } M = (1.991 \pm 0.002) \times 10^{30} \text{Kg}$$

نصف القطر $R = (6.960 \pm 0.001) \times 10^8 \text{m}$

متوسط الكثافة $P = 1.410 \pm 0.002 \text{ gm/cm}^3$

الشمس درجة الحرارة على السطح $T = 5762 \pm 50^\circ \text{K}$

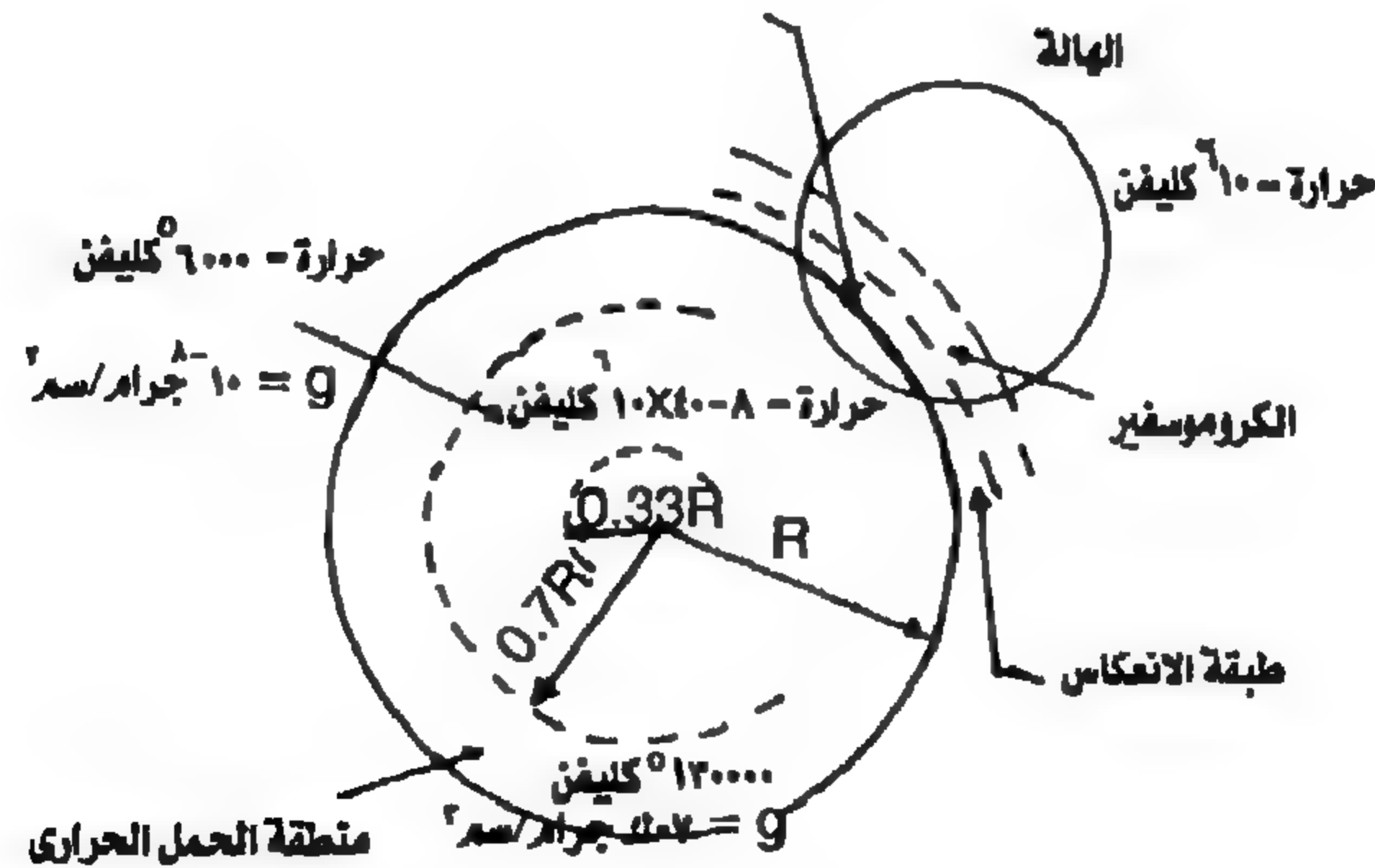
الشمس تدور حول محورها، ولكن ليست كجسم صلب. فترة الدوران تختلف من حوالي 25 يوم أرضي (25 Earth days) عند خط الاستواء إلى حوالي 27 يوم عند خط عرض 40° . بنيه الشمس تنقسم عموماً إلى ثلاث مناطق وهي:

داخل الشمس Solar Interior

الكرة الضوئية Photosphere

مناخ الشمس Solar Atmosphere

داخل الشمس يشمل الكتلة الرئيسية للشمس وبه غازات عند ضغط مليار جوى ودرجة حرارة من 8×10^6 إلى 40×10^6 درجة كلفن. الكثافة حوالي 80 إلى 100 ضعف تلك لكثافة الماء. وهي غالباً في تفاعل اندماج مستمر مع مكوناتها الغازية مثل الوعاء الذى يحتفظ بمحتواه بقوى الجاذبية. معظم طاقتها يتم توليدها بسبب التحول المستمر للهيدروجين (أى أربعة بروتونات) إلى الهيليوم (أى ذرة هليوم واحدة)، كتلة نواة الهيليوم أقل عن تلك للأربع بروتونات، الكتلة قد فقدت في التفاعل وتحولت إلى طاقة. تلك التفاعلات تحدث فى وجود الكربون والنيتروجين. الطاقة يتم إنتاجها فى اللب الداخلى للكرة الشمسية، وهي تنقل إلى السطح ثم تشع فى الفضاء. بنية الشمس موضحة فى الشكل (1/3).



شكل (1/3) البناء الشمسي

أنه بقدر أن حوالي 90% من الطاقة يتم توليدها فى منطقة (0.23R) حيث R هي نصف قطر الشمس والذى يحتوى 40% من كتلة الشمس. الطاقة المنتجة فى منطقة

المفاعل هذه تنقل إلى الخارج بالإشعاع فى شكل إشعاعات X, γ (جاما) حتى مسافة حوالى $(0.7R)$ من المركز، حيث تنخفض درجة الحرارة إلى حوالى $(130000K^{\circ})$ والكثافة تنخفض إلى (0.07 g/Cm^3) . خارج هذه المنطقة يوجد مائع (Fluid) الذى فيه الحرارة أساسا بالحمل الحرارى، ولذلك فإنها تعرف بمنطقة الحمل الحرارى (Convection zone). خلال هذه المنطقة تنخفض الكثافة إلى 10^{-8} جرام/سم³ وتقل درجة الحرارة إلى حوالى 6000° كلفن.

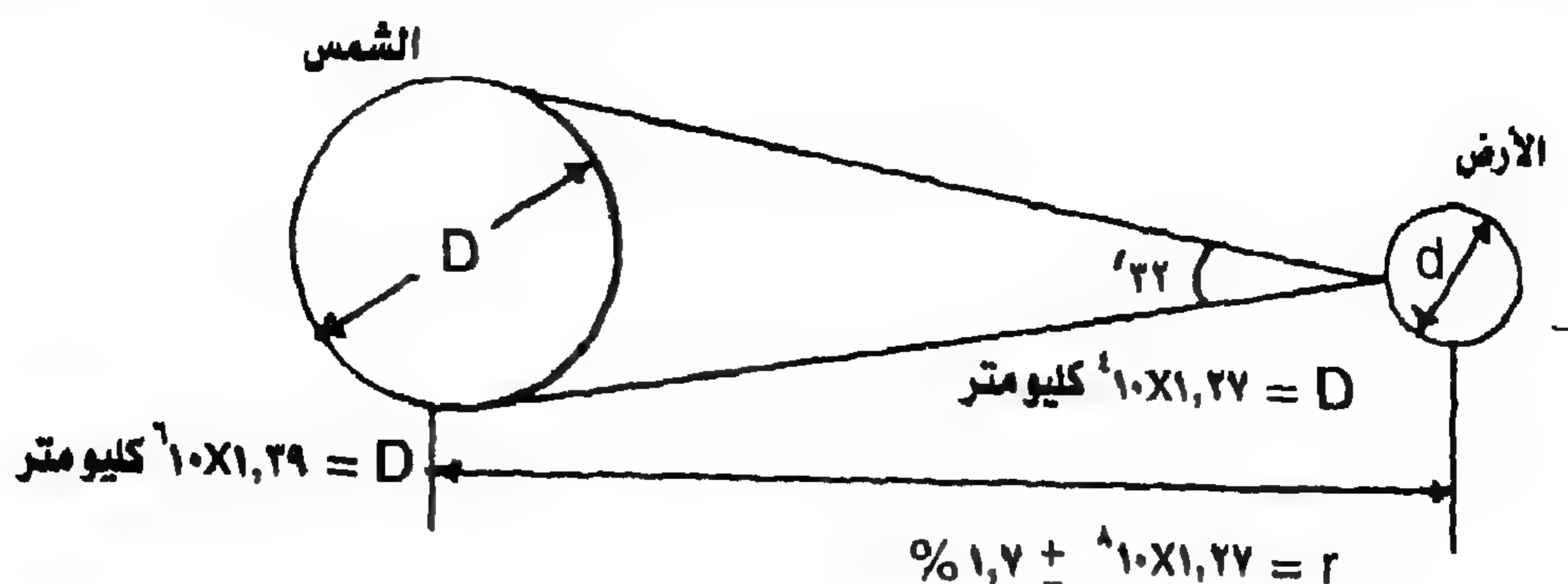
الطبقة العليا لمنطقة الحمل الحرارى تسمى الكرة الضوئية (Photosphere) وهى مصدر الضوء والحرارة لنا. وهى أسا معتمة وغير شفافة، حيث الغازات التى تتكون منها شديدة التأين وقادرة على امتصاص وانبعاث طيف إشعاعى مستمر.

فوق الكرة الضوئية توجد طبقة شفافة من الغاز المخلخل، (مخفف الكثافة والضغط) بسبك 10000 كيلو متر. وهى تعرف بالغلاف اللونى (Chromosphere) بسبب لونها الأحمر الناتج من خط $H\alpha$ القوى للهيدروجين فى طبقة الطيف حيث الطوق المستمر من الكثافة المنخفضة أساساً بسبب تشتت الإشعاع الشمسى. كثافته تنخفض بالتدريج من 10^{-8} جرام/سم³ عند الارتفاع العالى. ويريقها يخفو عند حوالى 6000 - 7000 كيلو متر فوق الكرة الضوئية. درجة حرارة الغلاف اللونى هو حوالى 4500 درجة كلفن عند القاع وحوالى 10^6 درجة كلفن عند ارتفاع 12.000 كيلو متر حيث تنتهى وتبدأ الهالة ذات درجة الحرارة المتساوية (Isothermal Corona). الضوء المنبعث من الغلاف اللونى هو ذو طول موجة قصيرة بسبب ارتفاع درجة الحرارة وهو ضعيف جداً بسبب خلخله وضعف كثافة غازاته. وهو يساهم بمعامل 10^{-3} من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

أخيراً توجد هالة، طبقة بيضاء براقية التى يمكن ملاحظتها فقط أثناء الخسوف الكلى للشمس. وهى من غازات عالية التأين ذات كثافة منخفضة جداً. درجة حرارتها، يفترض أنها ترتفع بواسطة موجات صدمية، وهى حوالى 10^6 درجة كلفن كما تأكد بواسطة طيف الحالة الحديثة بواسطة أشعة إكس (X-Ray corona spectra) بواسطة المختبر الفضائى (Skylab) وهو المختبر الفضائى الذى أطلقه الأمريكيون عام 1973 وعاد إلى جو الأرض عام 1979.

2- ثابت الشمس : (The solar constant)

خصائص الشمس وعلاقتها الفضائية بالأرض نتج عنها كثافة ثابتة إلى حد ما للإشعاع الشمسى خارج جو الأرض. الشكل (2/3) يوضح مخطط العلاقة الهندسية بين الشمس والأرض.



شكل (2/3) مخطط للعلاقة بين الشمس والأرض

المسافة بين الشمس والأرض تتغير بحوالي $\pm 3\%$ والإشعاع الساقط يتغير عكسياً طبقاً لمربع المسافة بين الشمس والأرض، تستقبل الأرض حوالي 7% أو أكثر من الإشعاع عندما تكون أقرب إلى الشمس. الشمس يقابلها زاوية 32.

ثابت الشمس (Isc) يعرف بالطاقة الكلية التي تستقبل من الشمس، في وجود الزمن، على سطح لوحدة المساحة عمودياً نحو الإشعاع، في الفضاء، خارج جو الأرض مباشرة عندما تكون الأرض عند مسافة متوسطة من الشمس. مع افتراض أن جو الأرض يصل إلى 75 كيلو متر من سطح الأرض، فإنه من السهل رؤية أن قياسات الثابت الشمسي سوف يتطلب استخدام بالونات ومركبة فضاء، التي يمكنها الذهاب إلى خارج الغلاف الجوي. القياسات الحديثة للثابت الشمسي أظهرت أن له قيمة تقريبية تساوي 1353 وات/المتر المربع أي 1165 (ie. 1.940 cal/cm²min. or 4871 KJ/m²hr). تستخدم (Langley) (165 Kcal/hrm²) أو (But/hrft²) أو (4871 KJ/m²hr). تستخدم أحياناً في هذه العلاقة واحد لا تجلى يساوي (1 cal/cm²) للإشعاع الشمسي الذي يتم استقباله في يوم واحد.

الكثافة الشمسية (Solar Flux) أو كثافة الإشعاع الشمسي الذي يترك سطح الشمس يقدر كالاتي:

$$H_s = \sigma T_o^4 \text{ (بفرض أن الشمس جسم أسود)}$$

حيث :

هو ثابت (Stefan - Bltzman) σ

$$= 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 - \text{K}^4$$

$$T_o = 5762^\circ \text{K}$$

متوسط درجة الحرارة على السطح = الآن

$$H_s = 5.670 \times 10^{-8} (5767)^4$$

$$= 5.961 \times 10^7 \text{ W/m}^2$$

إجمالي طاقة الإشعاع المنبعثة من الشمس يتم الحصول عليها بضرب الكمية التي تم حسابها سابقاً في المساحة السطحية للشمس. ثم نجد

$$P_o = H_s \times 4\pi R^2$$

حيث:

نصف قرط سطح الشمس = R

$$= 6.960 \times 10^8 \text{ m}$$

$$P_o = 5.961 \times 10^7 \times 4\pi (6.960 \times 10^8)^2$$

$$= 3.360 \times 10^{26} \text{ W.}$$

إذا كانت الشمس تبعث الإشعاع بالتساوي في جميع الاتجاهات، فإن هذه القوة الهائلة التي تسمى النورانية أو الإشراقية (Luminosity) بواسطة علماء الفلك، تتبعث بالتساوي في كل اتجاهات الفضاء. مع زيادة المسافة من الشمس، فإن هذه القوة تنتشر فوق أسطح كروية ذات مساحة زائدة. وبالتالي، فإن التدفق يتغير بعكس مربع المسافة من مركز الشمس. عند مسافة (r) تكون المساحة السطحية ($4\pi r^2$)، بحيث أن كثافة الإشعاع الذي يعبر مثل هذا السطح هي:

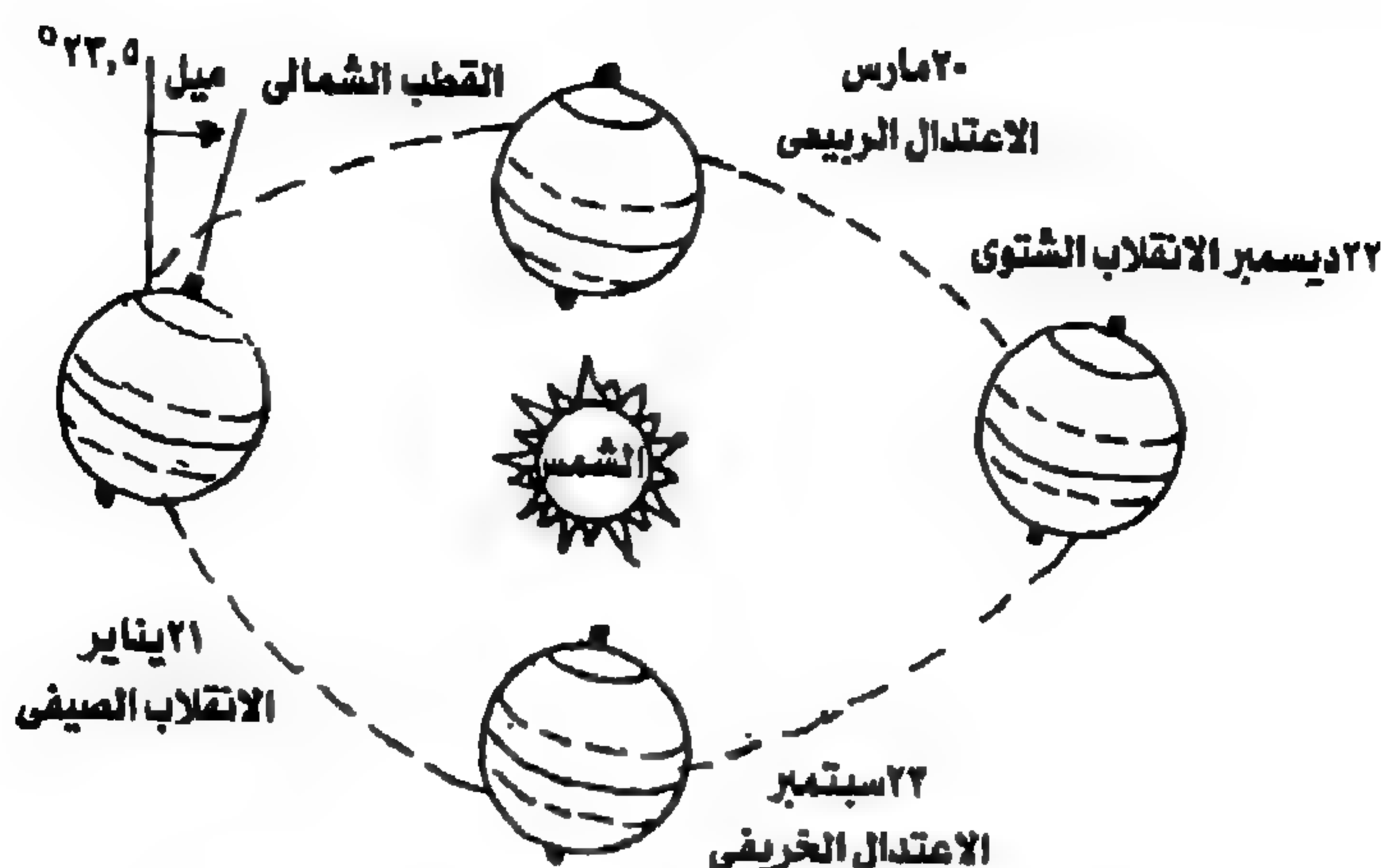
$$H_o = \frac{P_o}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{H_s \times 4\pi R^2}{4\pi r^2} = \frac{R^2}{r^2} \times H_s$$

$$= \frac{(6.960 \times 10^8)^2}{r^2} \times (5.961 \times 10^7) \text{ W / m}^2$$

$$= \frac{3.044 \times 10^{25}}{r^2} \text{ W / m}^2$$

نظراً لأن مسافة الأرض من الشمس (r) تتغير خلال العام شكل (3/3):



شكل (3/3) مخطط لمدار الأرض حول الشمس

فإن إجمالي التدفق الذي يصل الأرض يتغير كذلك. عند متوسط المسافة بين الشمس والأرض حيث $r = 1.5 \times 10^{11}$ متر، فإن كثافة الإشعاع تكون.

$$H_0 = \frac{3.044 \times 10^{25}}{(1.50 \times 10^{11})^2} = 1353 W / m^2$$

قيمة كثافة الإشعاع تسمى ثابت الشمس، والتي كما سبق ذكره، ليست ثابتة حقيقة، ولكنها تتغير طبقاً للموسم وإلى حد ما طبقاً للنشاط الشمسي. قيمة ثابت الشمس تم قياسه بواسطة العديد من الباحثين للمجال من 1350 إلى 1382 وات/المتر المربع. هذا التناقص يصل إلى 2% تقريباً. سوف نختار القيمة 1353 وات/المتر المربع كقيمة للثابت الشمسي مع اعتبار درجة حرارة الطيف تكون = 5760 درجة كيلفن.

الحيود الزاوي يكون :

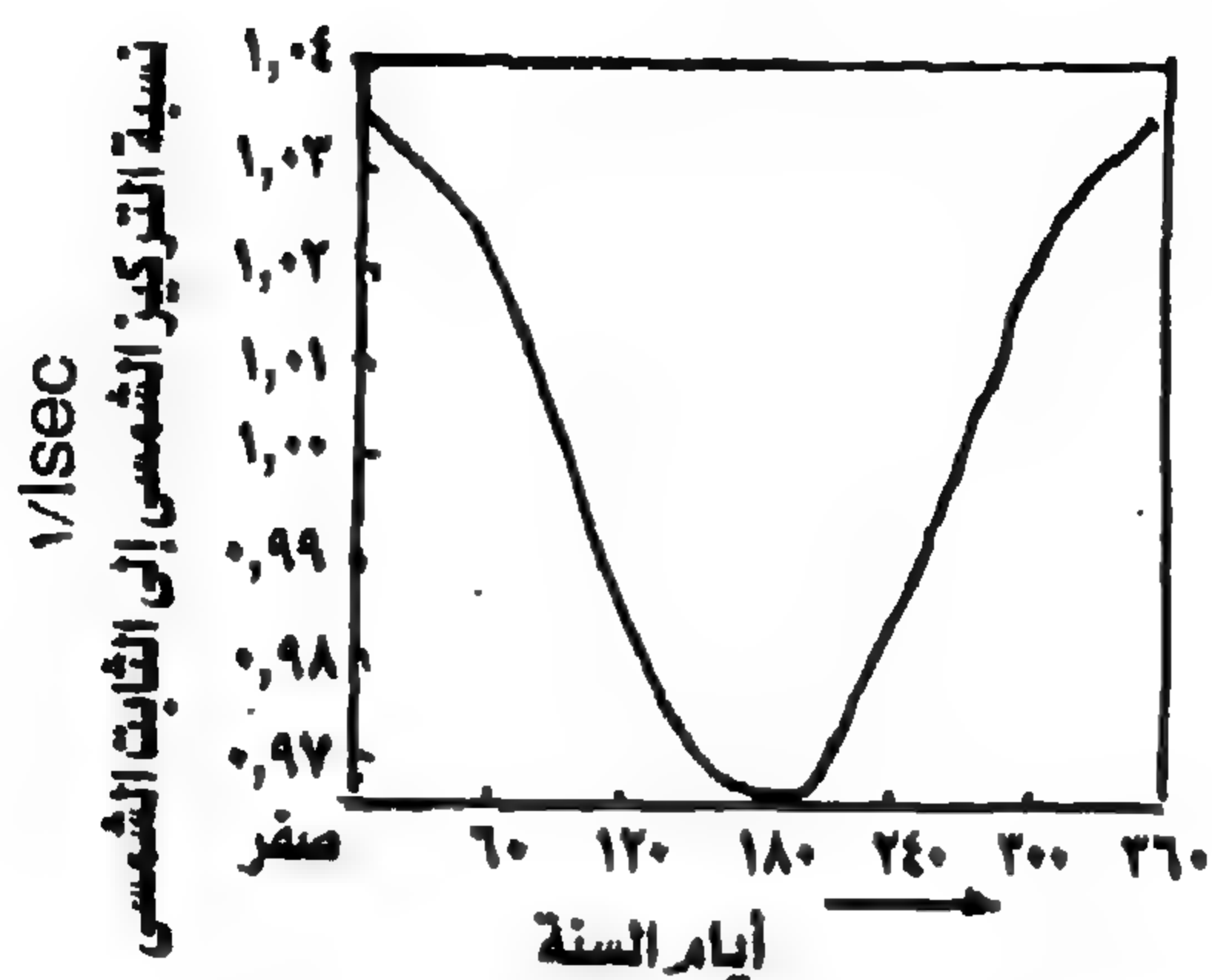
$$\Delta \theta = \frac{2R}{\gamma} \frac{2(6.96 \times 10^8 m)}{1.5 \times 10^{11} m}$$

$$= 9.28 \times 10^{-3} \quad (\text{rad} = 0.53^\circ = 32')$$

وهذا يزيد قليلاً عن $(1/2^\circ)$ ، بحيث أن التدفق التي ينتج ثابت الشمس يمكن تقريبه كإشعاع ذوى اتجاه واحد.

الأرض تدور حول الشمس مرة كل عام في مسار بيضاوي (Elliptical Orbit) المدار مستدير تقريباً، المسافة بين الشمس - الأرض تختلف بنسبة 3% من متوسط المسافة 150×10^6 كيلو متر كما ذكر سابقاً. الأرض تكون أقرب ما تكون للشمس في فصل الصيف وأبعد ما تكون في فصل الشتاء. هذا الاختلاف في المسافة ينتج تقريباً

تغير جيبي (Sinu soidal variation) فى كثافة الإشعاع الشمسى (I) التى تصل الأرض، كما هو موضح فى الشكل (4/3).



شكل (4/3) التغير السنوى لنسبة المعدل المتدفق للشمس فوق الأرض إلى ثابت الشمس هذا بسبب اختلاف المسافة بين الشمس والأرض هذا يمكن تقريبه بالمعادلة

$$I/I_{se} = I + 0.033 \cos 360 (n-2)/365$$

$$= I + 0.033 \cos 360xn/365$$

حيث n هى أيام العام. نظراً لأن المسافة بين الشمس والأرض تتغير خلال السنة، بسببها فإن الإشعاع البعيد عن الأرض يتغير كذلك.

كثيف الطاقة الكهرومغناطيسى: The Electromagnetic Energy spectrum:

طيف الإشعاع الكهرومغناطيسى ينقسم عادة إلى حزم من أطوال الموجة كما هو موضح فيما بعد (واحد ميكرون = $1\mu = 10^{-6}$ متر).

الاسم	المجال التقريبى
أشعة كونية	$\lambda < 10^{-8} \mu$
أشعة جاما	$10^{-8} < \lambda < 10^{-4} \mu$
أشعة إكس	$10^{-5} < \lambda < 10^{-2} \mu$
أشعة فوق البنفسجية	$2 \times 10^{-2} < \lambda < 0.38 \mu$
أشعة الضوء المرئى	$0.38 \mu < \lambda < 0.78 \mu$

تحليل الاشعاع الشمسى

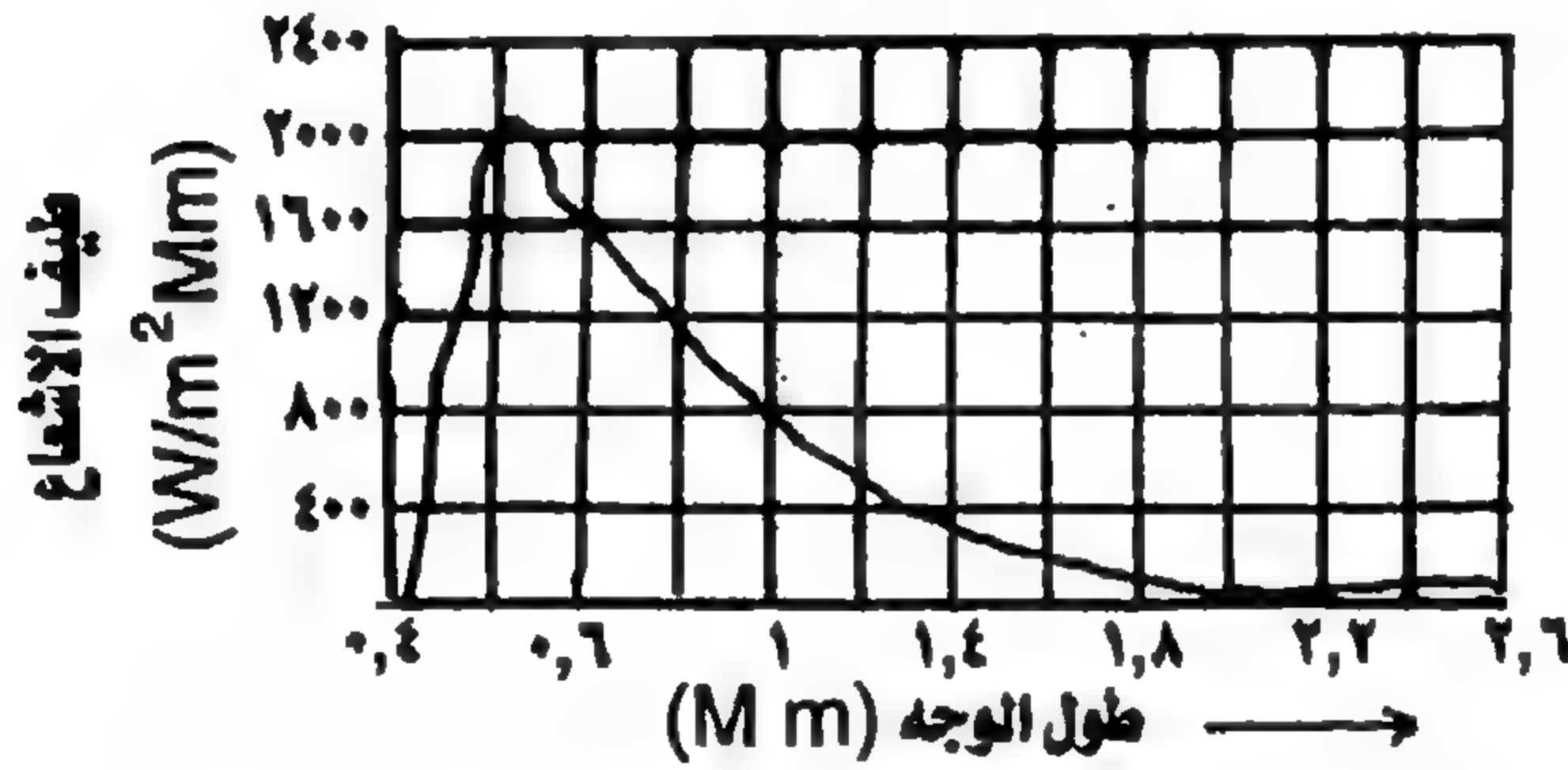
$0.78 \mu < \lambda < 10^2 \mu$	أشعة تحت الحمراء
$10^2 \mu < \lambda < 10^{10} \mu$	أشعة الراديو

من كل طيف الموجات الكهرومغناطيسية يمكن فقط استشعار فقط تلك ذات طول موجة ما بين 0.1 ميكرون إلى 100 ميكرون تقريباً. الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة خلال تلك الحدود تسبب الدفء لأجسامنا. لذلك فإن تلك الموجات تسمى الإشعاع الحرارى (Thermal Radiation). أشعة الضوء المرئى تشغل حزمة ضيقة جداً من طيف الإشعاع الحرارى.

الإشعاع الشمسى خارج المجال الجوى للأرض (البعيد عن الأرض)

Extra terrestrial Radiation:

الشكل (5/3) يوضح التوزيع الطيفى لكثافة الإشعاع الشمسى عند الحد الخارجى للمجال الجوى (ATMOSPHERE).



شكل (5/3) التوزيع الطيفى لكثافة الاشعاع الشمسى

الجدول الآتى يوضح الإشعاع الشمسى فى أجزاء مختلفة من الطيف. المساحة أسفل كل المنحنى هى الإشعاع الشمسى.

جدول (2/3) التوزيع الطيفى شدة وقوة الإشعاع الشمسى:

مجال طول الموجة (μ)	صفر - 0.38	0.78 - 0.38	4 - 0.87
الطاقة التقريبية W/m^2	95	640	618
النسبة التقريبية للطاقة الكلية	%7	%47.3	%45.7

نحن نرى أن الجزء المرئى لطيف الطاقة الشمسية يحمل حوالى نصف كل طاقتها إنبعاث الطيف الشمسى (يشار إلى الشكل 6/3) يوضح أن الشمس هى عبارة عن جسم

أسود مشع عند درجة حرارة (5762 كلفن). القوة تكون عند أقصاها في الجزء الأخضر من الطيف المرئي الذي عند ($0.48\mu\text{m}$). لقد أعد (Thekaekara) في عام 1977 جداول ومخططات لإشعاع الطيف الشمسي البعيد عن سطح الأرض من 0.12 إلى $100\mu\text{m}$ ، المجال الذي فيه كل طاقة الإشعاع الشمسي تكون مشتملة لكل الأغراض العلمية - الطاقة المشتملة في المنطقة فوق البنفسجية ($\lambda < 0.4\mu\text{m}$) وفي المجال المرئي ($0.40\mu\text{m} < \lambda < 0.70\mu\text{m}$) هي على التوالي حوالي 8.73%، 38.15% من الطاقة الكلية المنطلقة بالشمس والباقي 51.12% يكون موجوداً في المنطقة تحت الحمراء ($\lambda > 0.70\mu\text{m}$). الشكل يوضح التوزيع الطيفي للإشعاع البعيد عن الأرض المتاح عند متوسط المسافة بين الشمس والأرض حيث كتلة الهواء صفر و 1353 وات/المتر المربع الثابت الشمسي. ولكن، نظراً لحقيقة أن الأرض تدور حول الشمس وليس في مسار دائري ولكن تتبع ممر بيضاوي مع الشمس كأحد البؤر، فإنه يوجد اختلاف في الإشعاع البعيد عن الأرض (Extraterrestrial radiation).

الإشعاع الشمسي عند سطح الأرض :

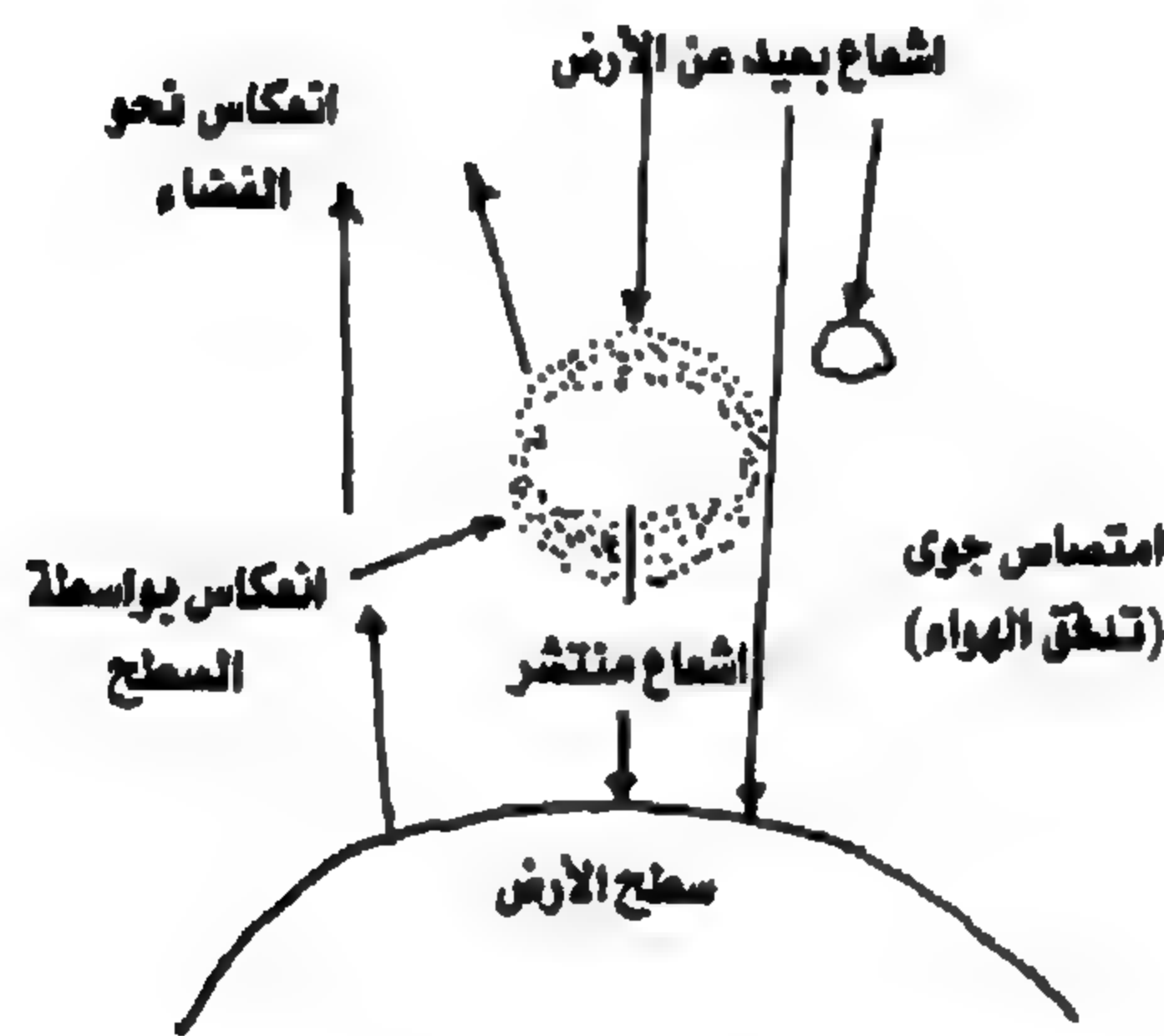
Solar Radiation at the Earth's surface (Terrestrial Radiation)

من وجهة نظر استخدام الطاقة الشمسية فإن اهتمامنا يكون مركزاً على الطاقة التي تصل إلى سطح الأرض أكثر من تلك البعيدة عن سطح الأرض. الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض يختلف كلية لأسباب عديدة. قبل دراسة ذلك فإنه ينبغي معرفة المصطلحات الآتية:

الشعاع وانتشار الإشعاع الشمسي (Beam and diffuse solar radiation)

ذلك الجزء من الإشعاع الشمسي الساقط الذي يأتي مباشرة من القرص الشمسي الظاهر، بدون انعكاس من أغراض أخرى، يسمى المباشر أو حزمة من الطاقة الإشعاعية (Beam Radiation). هذه الإشعاعات يتم استقبالها من الشمس بدون التغير في الاتجاه. الإشعاع المنتشر (Diffuse Radiation) هو الإشعاع الشمسي القادم من الشمس بعد تغير اتجاهه بالانعكاس (Reflection) والتشتت بالجو. يعرف الإشعاع المنتشر بالإشعاع الشمسي المشتت بواسطة حبيبات الغبار والإيروسولات. ولكن له اتجاه محدد. الإشعاع الشمسي الكلي أو الإشعاع الشمسي الكوني هو كل الإشعاع الشمسي الساقط على الأرض والذي يشمل المشتت والمنعكس والمباشر. الإجمالي لا يتضمن الإشعاع الذي تم امتصاصه بواسطة المادة ثم إعادة انبعائه (Re-emitted)، ذلك لأن معظم هذا الإشعاع يكون عند أطوال موجات أعلا ($3\mu\text{m}$) الإشعاع الشمسي

المشتت هو إجمالى الإشعاع الشمسى ناقص الإشعاع المباشر أو إشعاع حزمة الطاقة الإشعاعية (Beam Radiation). الإشعاع الشمسى البعيد عن الأرض يكون إشعاع مباشر كلية أو فى شكل إشعاع حزمة الطاقة الشمسية. نظراً لأن هذا الإشعاع يمر خلال جو الأرض (الغلاف الجوى)، فإنه يحدث له تفاعلات معقدة مع المكونات المختلفة للغلاف الجوى. العوامل الرئيسية هى تشتت من الجزيئات وحبيبات الغبار، الامتصاص بواسطة الجو والانكسار. جزء كبير من الإشعاع الذى يصل إلى سطح الأرض ينعكس ويحدث له عدة تفاعلات مشابهة، الباقى يتم امتصاصه بواسطة سطح الأرض.



شكل (6/3) الإشعاع المباشر المنتشر والإجمالى

الإشعاع المشتت الذى يصل للمشاهد من مختلف أجزاء القبة السماوية يسمى الإشعاع المشتت كما سبق توضيحه. المشاركون فى تشتت الإشعاع المنبعث من جزء معين من الشمس يكون بفعل الإشعاع المنعكس من الأرض، الإشعاع المشتت من الأجزاء الأخرى من السماء، وكذلك، الإشعاع المباشر الموجود عند ذلك الجزء من السماء.

السحب لها التأثير الأكبر على تغير الإشعاع الشمسى. السحاب ما بين المشاهد والشمس يعيق الإشعاع المباشر، السحب فى أى مكان فى السماء تزيد من تشتت الإشعاع. مختلف أنواع السحب يمكن أن يكون له تأثيرات مختلفة على إجمالى الإشعاع الشمسى طبقاً لموقعها وموقع الشمس. التأثيرات على الإشعاع الشمسى بسبب الإيروسولات، بخار الماء، التلوث الجوى هى قليلة وعادة تعالج لحالات السماء الصافية. تلك التأثيرات تتم معالجتها.

مقدار تشتت الإشعاع المرئى بواسطة المشاهد فى اليوم الصافى ليس متساوى الخواص (Isotropic) ولكنه يتغير بدلالة خط العرض (المسافة من خط الاستواء

(Latitude)، الوقت من العام، الوقت خلال اليوم، المحتوى الجوى، عوامل أخرى. العلاقة معقدة حيث نادراً ما يتم تناولها نظرياً. الغالب بالنسبة لأغراض التقويم لنظم الطاقة الشمسية يفترض أن الإشعاع المشتت أن يكون متساوي الخواص (Isotropic) على قبة السماء. تبرير آخر يستخدم عادة لعلم هذا الافتراض هو أن الإشعاع المشتت ليس فقط جزء صغير نسبياً (5 إلى 15%) من الكلى عندما لا تكون الشمس معاقلة بواسطة السحب، وأن معظم النظم الشمسية لا تعمل عندما تكون الشمس تم حجبها بواسطة السحب. لذلك فإن التغيرات في توزيع الإشعاع المشتت ليس له أهمية كبيرة نحو معظم المستخدمين.

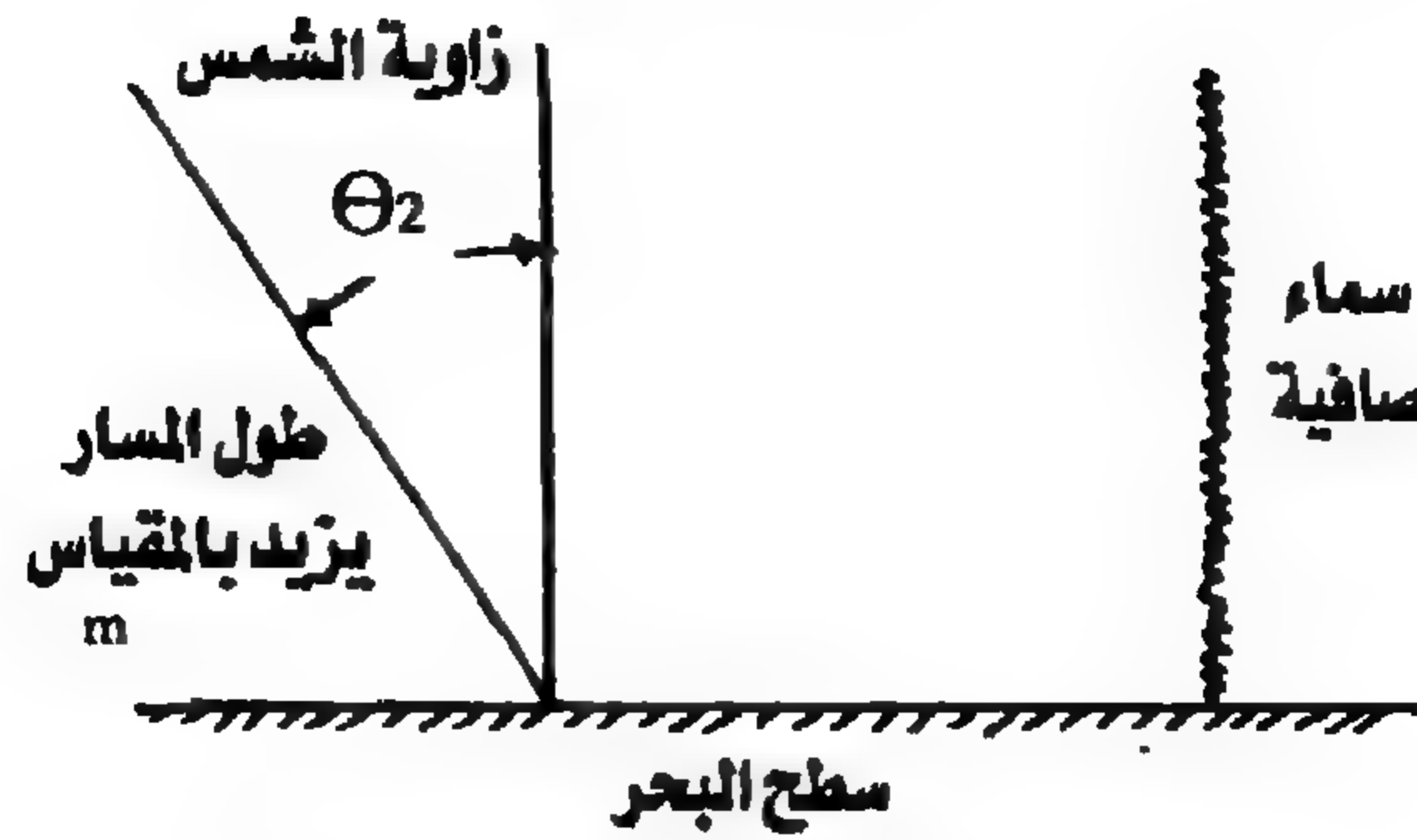
الشمس عند السميت (الزروة) وضع الشمس فوق الرأس مباشرة؛

Position of the Sun Directly Over Head (Sun at Zenith)

الكتلة الهوائية ((Air mass (m)). هي طول ممر الإشعاع خلال الجو مع اعتبار الممر الراسى عند مستوى سطح البحر (كواحد).

المسافة المقطوعة بالإشعاع المباشر خلال الجو تتوقف على زاوية السقوط نحو الغلاف الجوى (زاوية السميت) والارتفاع فوق مستوى سطح البحر للملاحظ. الشكل (7/3) مع اعتبار سماء صافية ولا توجد سحب أو غبار أو تلوث. نظراً لأن السطح العلوى للغلاف الجوى لا يتم تعريفه بأكثر من المسافة المقطوعة وهى كتلة الغازات الجوية والأبخرة التى يتم مقابلتها. بالنسبة للحزمة الإشعاعية المباشرة عند السقوط العادى بالمرور خلال الغلاف الجوى عند الضغط العادى، سيتم مقابلة كتلة قياسية من الغلاف الجوى إذا كانت الحزمة الضوئية عند زاوية السميت (θ_z)، زيادة طول المسار مقارنة بالمسار العادى يسمى نسبة الكتلة الهوائية (Air mass Ratio (or Air Mass)، الرمز (m) المصطلح (AM) يستخدم نسبة كتلة الهواء. (AMO) يشير إلى غلاف جوى صفر، أى أن الإشعاع فى الفضاء الخارجى (Outer space). (AM_1) تشير إلى 1-1، أى الشمس فوق الرأس، AM_2 تشير إلى $m=2$ وهكذا. من الشكل، حيث أنه عادة لا يتم أخذ انحناء الأرض فى الحساب

$$m = \sec \theta_z$$



شكل (7/3) نسبة كتلة الهواء

نسبة كتلة الهواء المختلفة التى تقابل بسبب التغير فى الضغط الجوى أو التغير فى ارتفاع المراقب يتم مراعاتها منفصلاً.

لذلك، فإن كتلة الهواء (m) هى نسبة مسار أشعة الشمس خلال المجال الجوى إلى طول المسار عندما تكون الشمس عند السمى. باستثناء زوايا خط العرض الشمسية المنخفضة جداً، فإن كتلة الهواء تساوى الناتج عند زاوية خط العرض ($Altitude$).

لذلك عند منسوب سطح البحر $I = m$

$M=1$ عندما تكون الشمس عند السمى، فوق الرأس مباشرة.

$M=2$ عندما تكون زاوية السمى 60° (θ_z ، الزاوية المقابلة بالسمى وخط البصر نحو الشمس).

$\sec \theta_z = m$ عندما تكون $m < 3$

$m = \text{صفر}$ فوق الغلاف الجوى للأرض مباشرة.

توهين وتخفيف حزمة من الطاقة الإشعاعية :

(Attenuation of Beam Radiation)

الاختلاف فى الإشعاع الشمسى الذى يصل إلى الأرض عن الذى يصل إلى ما بعد الغلاف الجوى بعيداً عن سطح الأرض يكون بسبب الامتصاص والتشتت فى الغلاف الجوى.

(1) الامتصاص : عند مرور الإشعاع الشمسى خلال جو الأرض فإن الأشعة فوق البنفسجية ذات طول الموجة القصيرة يتم امتصاصها بواسطة الأوزون فى الغلاف الجوى والأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة يتم امتصاصها بواسطة ثانى أكسيد الكربون. والرطوبة فى الجو. ثم ينتج عنه تضيق عرض الحزمة من الأطوال الموجية (Band width). فى الحقيقة معظم الطاقة الشمسية الأرضية (أى الطاقة التى تصل إلى

(الأرض) تقع خلال المجال من 0.29 ميكرون إلى 2.5 ميكرون (0.29μ to 2.5μ).

(2) التشتت (Scattering): عند مرور الإشعاع الشمسي خلال الغلاف الجوى للأرض، فإن مكونات الغلاف الجوى مثل بخار الماء والأتربة، تشتت جزء من الإشعاع. جزء من ذلك الإشعاع المشتت يصل دائماً إلى سطح الأرض فى شكل إشعاع منتشر (Diffuse) لذلك الإشعاع النهائى الذى يصل سطح الأرض يتكون من الحزمة الضوئية الإشعاعية (Beam Radiation) ومن الإشعاع المنتشر.

يجب التحقق من أن التشتت يخفف من الإشعاع. المقدار الصحيح للتشتت وبالتالي التوهين والتخفيف يتوقف على الظروف الجوية والتي تختلف من مكان إلى آخر وعند مكان معين يتوقف على الوقت من اليوم، والشهر من السنة والمناخ المجلى.

الانتقال أحادى اللون أى أحادى طول الموجة (Monochromatic) للحزم الضوئية الإشعاعية يمكن كتابته كالاتى :

$$(1) \tau_{\lambda} = T_{\lambda}(s) \times T_{\lambda}(abs)$$

حيث :

$T_{\lambda}(s)$ = الانتقال الجوى أحادى اللون باعتبار التشتت فقط (عند طول موجة λ).

$T_{\lambda}(abs)$ = الانتقال الجوى أحادى اللون باعتبار التشتت والامتصاص (عند طول موجة λ)

التأثير الكلى للتشتت لحزمة الإشعاع الشمسي يمكن كتابته تقريباً كالاتى:

$$(2) \tau_{\lambda(s)} = [(Ta_{\lambda})^{p/760} (Td_{\lambda})^{d/800} (Tw_{\lambda})^{w/20}]^m$$

حيث :

Ta_{λ} = الانتقال أحادى طول الموجة (اللون) بسبب جزئيات الهواء

$$= 10^{-0.00389\lambda-4}, \text{ حيث } \lambda \text{ تكون بالميكرون}$$

$$m = 1, \quad p = 760 \text{ مليمت}$$

Td_{λ} = الانتقال أحادى طول الموجة (اللون) بسبب الغبار

$$= 10^{-0.03530-0.75}, \text{ حيث } \lambda \text{ بالميكرون.}$$

$$m = 1 \text{ متوسط حبيبات الغبار } 800/3 \text{ سم عند الأرض.}$$

Tw_{λ} = الانتقال أحادى اللون (طول الموجة) بسبب بخار الماء

$$= 10^{-0.0075\lambda-2}$$

(تشتت بخار الماء لسمت الشمس و 20 مليمت ماء قابل للترسيب)

P = الضغط الكلي، مليمتري زئبق.

d = تركيز حبيبات الغبار، عند الأرض حبيبات على سم3

W = عمق الماء القابل للتسيب، مليمتري، (كمية بخار الماء في عمود الهواء فوق المراقب)

m = كتلة الهواء

التأثير الكلي للامتصاص على حزمة الإشعاع الشمسي يمكن كتابته تقريباً كالتالي:

$$T_{\lambda}(abs) = T_{o\lambda} \times T_{w\lambda}$$

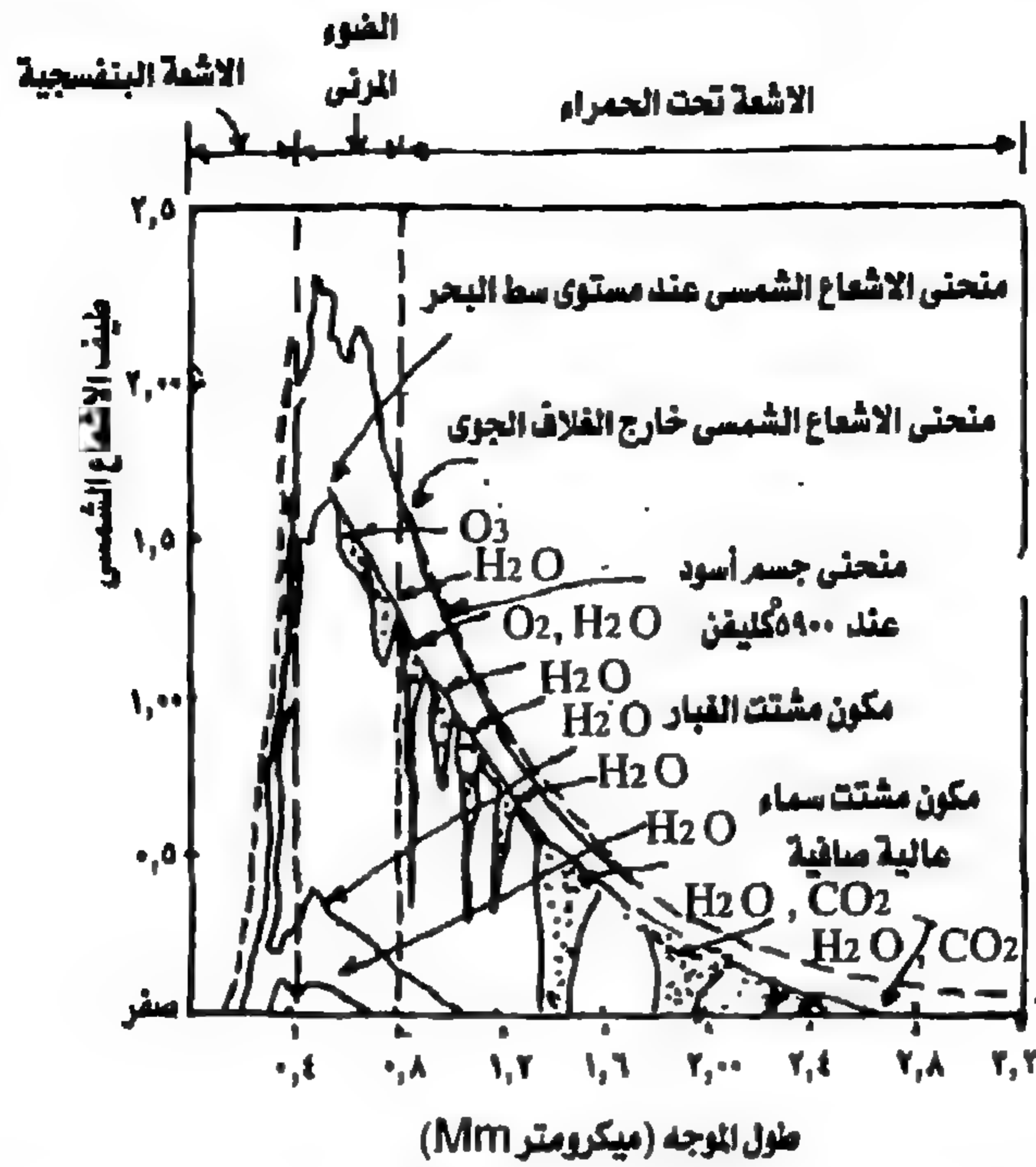
حيث:

$T_{o\lambda}$ = الانتقال أحادي اللون (طول الموجة) بسبب الامتصاص بالأوزون

$T_{w\lambda}$ = الانتقال أحادي اللون بسبب الامتصاص بالماء

الأوزون يمتص أساساً الحزمة الإشعاعية فوق البنفسجية. فهو يمتص غالباً الإشعاع قصير الموجة بالكامل والذي دون $(0.28\mu m)$ ، وإنفاذه غالباً يكون وحدة (Unity) بعد الموجات ذات $(0.35\mu m)$. بخار الماء يمتص أساساً في الحزمة تحت الحمراء. عند أطوال موجة أطول من $(2.3\mu m)$ ، يكون الإشعاع الشمسي البعيد عن الأرض بواسطة CO_2, H_2O في الغلاف الجوي قوي. لذلك فإنه للتطبيقات الأرضية للطاقة الشمسية، فإنه يلزم فقط اعتبار أطوال الموجة ما بين 0.29 ، $2.5\mu m$.

الشكل (8/3) يوضح منحنيات التوزيع الطيفي. في الظروف المناخية الجيدة، أقصى تركيز ملاحظ عند الظهر على سطح لامع عند مستوى سطح البحر هو واحد كيلوات/المتر المربع $(1Kw/m^2)$. عند ارتفاع 1000متر، ترتفع القيمة إلى $(1.05 Kw/m^2)$ وفي الجبال العالية يتم الحصول على قيم أعلا من $(1.1Kw/m^2)$ ، مقارنة بقيمة $(1.353Kw/m^2)$ (ثابت الشمس) (Solar constant) في الفضاء. القيمة الأخيرة تسمى أحياناً كتلة الهواء (AMO) (Air mass)، حيث عند مستوى سطح البحر، تكون أقصى قوة تركيز ممكن يسمى (AMI) المنحني العلوي ينطبق على الحد الخارجي للغلاف الجوي. (AMO). المنحني السفلي الآخر ينطبق على سطح الأرض أثناء الأيام الصافية لمكان مستوى سطح البحر، لـ (AMI). المنحني الممشر في الشكل يوضح المنحني للجسم الأسود عند $(5900^{\circ}K)$.



الشكل (8/3) الطيف الشمسي خارج الغلاف الجوي وعند سطح الأرض
(الطيف المرئي 0,38- 0,78 ميكرومتر)

المنحنيين السفليين هما لمكونات التشتت لبعض حالات السماء الملبدة بالغيوم والسماء الصافية. اعتبار منحنى الإشعاع الشمسي لحالة المنحنى السفلي والعلوي، فإن معامل الانتقال الجوي يعطى كمساحة أسفل المنحنى السفلي مقسومة على المساحة أسفل المنحنى العلوي (الثابت الشمسي Solar constant).

بالنسبة $(1.0 = m)$ يكون معامل الانتقال (0.633) ، بالنسبة $(5.0 = m)$ عند سطح الأرض لمنسوب سطح البحر، يكون معامل الانتقال هو (0.276) . لقيم مختلفة لـ (m) يمكن تعيين معامل الانتقال. لذلك، فإن طول الإشعاعات الشمسية (Sun Ray's) خلال المجال الجوي يكون ذو أهمية كبيرة في تأثير خفض الكثافة والحدة الشمسية.

مثال:

بالنسبة للظروف المناخية الموضحة بعد، عين الانفاذ الكلي الجوي للتشتت فقط، عندما تكون الشمس عن السمات.

$$0.5\mu m = \lambda \text{ طول الموجة}$$

$$750mm = p \text{ الضغط الكلي}$$

تركيز حبيبات الغبار عند الحبيبات الأرضية = 800/cm³

عمق الماء المدرك = 20mm

افتراض الانفاذ الجوى أحادى اللون (طول الموجة) باعتبار الامتصاص فقط
($T_{\lambda abs} = 0.6$).

الحل :

مع اعتبار التشتت فقط، فإن الانفاذ الجوى أحادى اللون عند طول موجة (λ) يكون كالاتى:

$$(1) T_{\lambda(s)} = [(T_{a\lambda})^{p/750} (T_{d\lambda})^{d/800} (T_{w\lambda})^{w/20}]^m$$

$$T_{a\lambda} = 10^{-0.00389\lambda-4}$$

$$= 10^{-0.00389(0.5)-4}$$

$$= 10^{-0.0623}$$

$$T_{d\lambda} = 10^{-0.0353\lambda-0.75}$$

$$= 10^{-0.0353(0.5)-0.75}$$

$$= 10^{-0.105}$$

$$T_{w\lambda} = 10^{-0.00753\lambda-2}$$

$$= 10^{-0.75(0.5)-2}$$

$$= 10^{-0.03}$$

استبدال القيم فى المعادلة رقم (1)

$$T_{(0.5)s} = [10^{(-0.0622750/760)} 10^{-(0.105)800/800} 10^{(-0.03)20/20}]$$

[هنا $m=1$ ، الشمس عند السمى]

$$= [10^{-0.06220^{0.986}} 10^{-0.05} 10^{-0.03}]$$

$$= 10^{-0.1982}$$

$$= 0.633$$

الآن الإنفاذ الكلى هو

$$T_{\lambda} = T_{\lambda(s)} \times T_{\lambda ab}$$

$$= 0.633 \times 0.6 = 0.3798.$$

المصطلحات والزوايا الأساسية للأرض والشمس :

(SPME Terms and Basic Earth Sun Angles)

لتفهم ما يتبع لحساب الطاقة الشمسية، يتم التعرف على بعض المصطلحات الأساسية:

الكرة السماوية (Celestial sphere) :

السما في الليل الصافى، تبدو وحيث النجوم، الكواكب، القمر.. الخ كما لو كانت كلها موجودة على نفس المسافة بعيداً عن المراقب. يمكن افتراض السماء أنها كرة ضخمة هذه الكرة المتصورة تسمى الكرة السماوية.

السمت (Zenith) :

السمت هي النقطة على الكرة السماوية التي تقع مباشرة فوق رأس المراقب. السمت يتغير بالنسبة للمكان.

نظير السمت الحقيقي : (Nadir)

النقطة للكرة السماوية المعاكسة قطرياً للسمت. نظير السمت يتغير كذلك بالنسبة للمكان. نظير السمت ليس مثل السمت حيث أنه لا يرى.

الأفق المرئى (Visible Horizon)

يبدو للناظر أن الكرة السماوية تقابل الأرض، مكان هذا التقابل الظاهري يسمى الأفق المرئى.

الأفق الفلكى (Astronomical Horizon)

نظراً لأن الأفق المرئى غير متساوى، لذلك فإنه لا يمكن تعريف مكان في السماء بالنسبة له. لذلك يكون من الضروري تعريف الأفق، نفس المسافة البعيدة عن السمت (الخط الواصل بين السمت ومركز الأرض ببساطة خط عمودى). فهي دائرة غير مستوية يمكن أن تكون إما أسفل أو فوق الأفق. هذا موضح فى الأفق الفلكى ويكون الحصول عليه بالإدارة فى كل الاتجاهات من السمت، مسافة زاوية مقدارها 90°.

أقطاب الأرض: (Poles of the Earth)

نهايات محور دوران الأرض علامة لنقطتين هامتين على سطح الأرض. وهما يسميا أقطاب الأرض، واحد كالشمال والآخر كالجنوب.

خط الاستواء الأرضى (Earth's Equator)

خط الاستواء الأرضى عبارة عن دائرة تصوريه كبيرة عمودية على محور الأرض، مقسمة المسافة بين أقطاب الأرض على طول سطحها إلى جزئين متساويين.

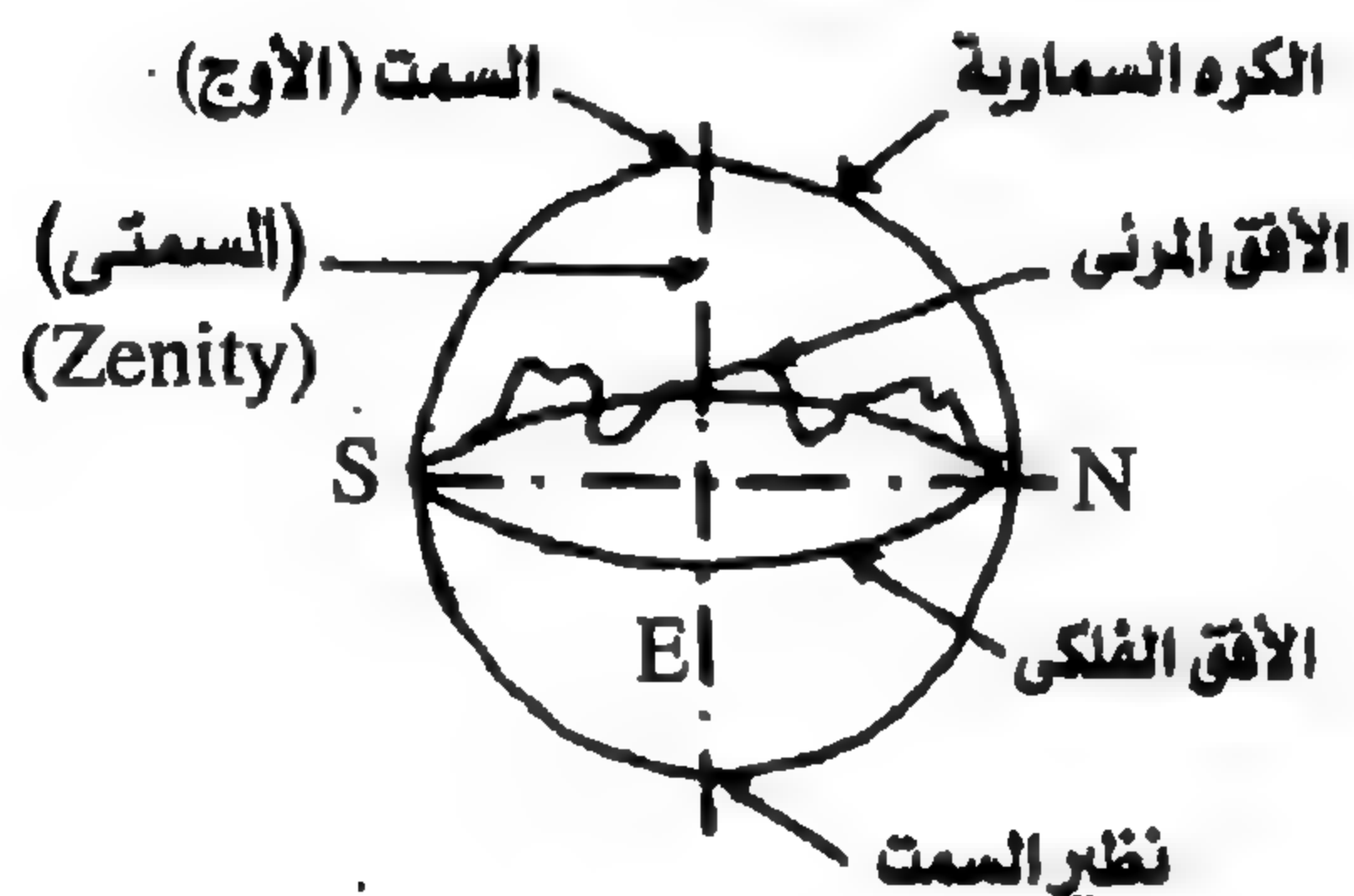
خط الاستواء يقسم الأرض إلى نصفى كرة تسمى نصف الكرة الشمالى ونصف الكرة الجنوبى.

خط الزوال، دائرة خط الطول (Meridian) :

من الضروري اختيار مكان إرشادي على الأرض للمساعدة في تعيين موقع معين. مكان (Royal Observatory Green wich) خارج لندن تم قبوله عالمياً كنقطة إرشادية. دائرة ضخمة متصورة ماره خلال هذه النقطة وكلا القطبين، مقاطعاً خط الاستواء بزوايا قائمة، يسمى الزوال أو دائرة خط الطول الأولى (or greenwich). دوائر مشابهة كبيرة تم رسمها على فترات تساوي كل فترة 15 درجة خلال القطبين.

خط الطول، قوس الطول: (Longitude)

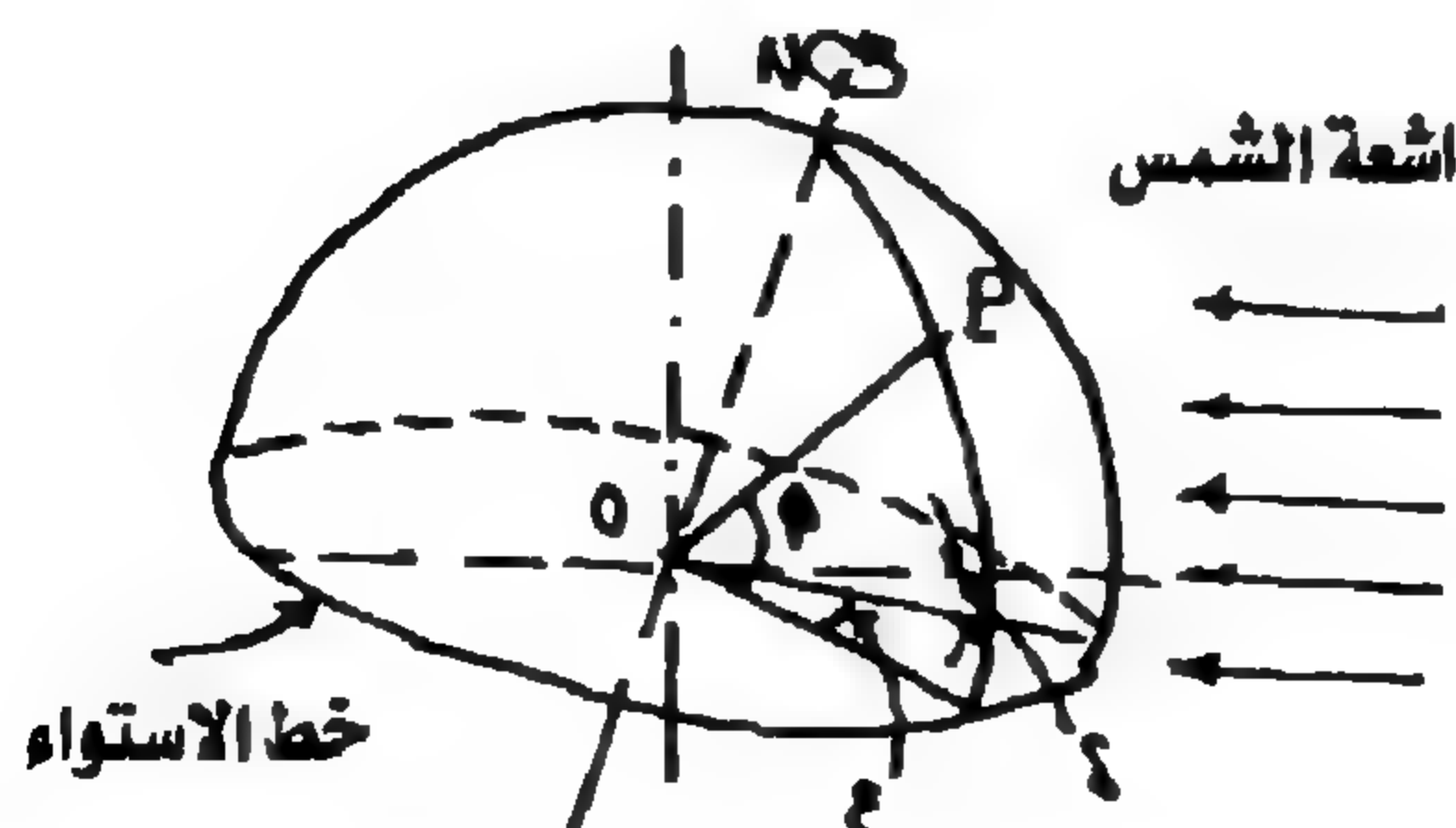
خط الطول هو المسافة الزاوية (Angular Distance) للمكان، مقاسه إلى السشرق
أو إلى الغرب من خط الزوال الأول (دائرة خط الطول).
كمثال خط الطول لـ (Bhopal) هو $(77^{\circ}30'E)$.



شكل (9/3)

أساسيات زوايا الأرض الشمس: (Basic Earth sun angles)

موقع النقطة (P) على سطح الأرض بالنسبة لأشعة الشمس يكون معلوماً عند أي لحظة إذا كان خط العرض (Latitude) (ϕ) وزاوية التوقيف (ω) للنقطة، وميل الشمس (δ) معلوماً. هذه الزوايا الأساسية موضحة في الشكل (10/3). النقطة (P) تمثل موقع نصف الكرة الشمالي.

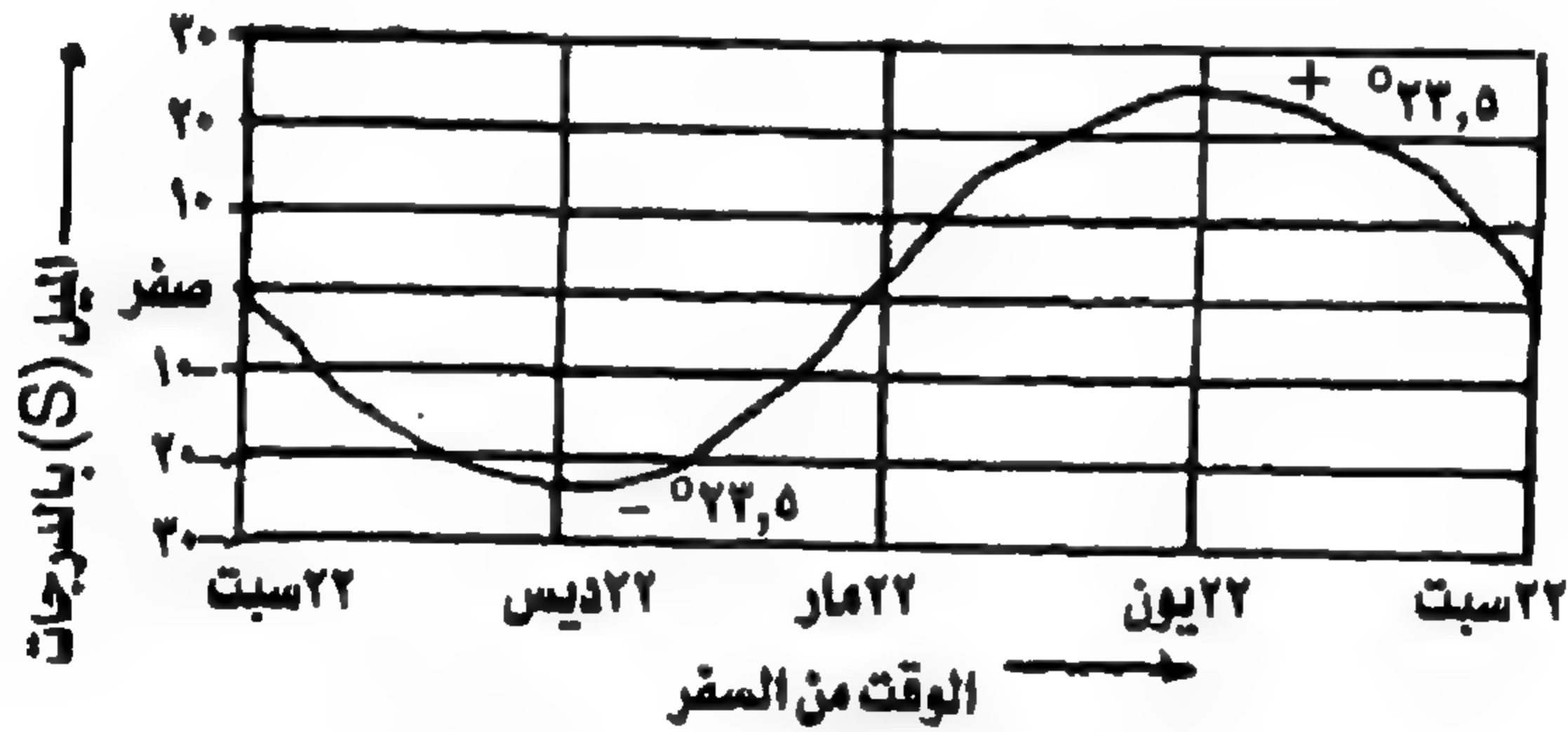


شكل (10/3) خط العرض ، زاوية الساعة ، ميل الشمس

خط العرض (ϕ) لنقطة على سطح الأرض هو مسافته الزاوية شمال أو جنوب خط الاستواء مقاساً من مركز الأرض. وهو المسافة بين الخط OP وإسقاط OP على مستوى خط الاستواء (Equatorial Plane). النقطة (O) تمثل مركز الأرض.

زاوية التوقيف (ω) (Hour angle) هي الزاوية التي خلالها يجب أن تدور الأرض لوصول دائرة خط الطول (Meridian) للنقطة مباشرة في الخط بالنسبة لأشعة الشمس. وهي الزاوية المقاسة في مستوى خط الاستواء الأرضي، ما بين إسقاط OP وإسقاط خط من مركز الشمس إلى مركز الأرض. عند الزوال الشمس (ظهر الشمس - Solar Noon) زاوية التوقيف تكون صفر وهي تعبر عن الوقت في اليوم بالنسبة لزوال الشمس. وهو يقاس بالموجب نحو الغرب من المراقب ويعبر عنها بالساعات، الدقائق، الثواني، الدرجات، الدقائق، إشعاعات (Radiants).

الساعة تكافئ $0.262 \text{ rad} = 2\pi/24$ أو $15^\circ = 24/360$ وبالتالي دقيقة واحدة = $15''$ ، 4 دقيقة = 1° . ميل الشمس (δ) هو المسافة الزاوية لأشعة الشمس شمال أو جنوب خط الاستواء. وهي الزاوية بين الخط الممتد من مركز الشمس إلى مركز الأرض، وإسقاط هذا الخط على مستوى خط الاستواء الأرضي.



شكل (11/3) تغير ميل الشمس

هذا هو النتيجة المباشرة للميل وسوف يتغير ما بين 23.5° في يونيو 22 إلى -23.5° في ديسمبر 22. عند وقت منقلب الشمس الشتوي (Solstice)، فإن أشعة الشمس ستكون 23.5° جنوب خط الاستواء الأرضي ($\delta = -23.5^\circ$). عند وقت منقلب الشمس (Solstice) فإن أشعة الشمس ستكون 23.5° شمال خط الاستواء الأرضي ($\delta = 23.5^\circ$). عند وقت الاعتدال الربيعي أو الخريفي (Equinox) [الاعتدال الربيعي في 21 آذار والخريفي في 22 أيلول] (حيث يتساوى الليل)، فإن ميل الشمس سيكون صفر. الشكل (11/3) يوضح تقريباً التغير في ميل الشمس خلال العام. حقيقة، الميل يتغير

تحليل الاشعاع الشمسى

قليلاً من عام إلى عام القيمة لسنة متوسطة ما بين سنتين كبيرتين متتاليتين يمكن استخدامه.

الجدول (1/3) التالى يعطى قيم الميل لمختلف الأيام فى العام على فترات سبعة أيام لكل شهر من العام، ويمكن امتداده طولياً هذه القيم يمكن استخدامها لآى عام. بالنسبة لآى يوم، يمكن افتراض الميل الثابت.

الميل بالدرجات، لآى يوم يمكن حسابه من المعادلة التقريبية لكوبر (Copper -1969).

$$8 = 23.45 \sin[360x \frac{284 + n}{365}]$$

حيث n هى اليوم فى العام [مثل يونيو 21، هو اليوم 173]

(21 + 29 + 31 + 30 + 31 + 21) يوم فى عام 1980 أى N = 173

جدول (1) ميل الشمس :

اليوم	1	8	16	22
الشهر	الميل	معادلة الوقت	الميل	معادلة الوقت
يناير	درجة:دقيقة	دقيقة:ثانية	درجة:دقيقة	دقيقة:ثانية
يناير	-(23:08)	-(3:16)	-(22:20)	-(6:26)
فبراير	-(17:18)	-(13:34)	-(15:13)	-(14:14)
مارس	-(7:51)	-(12:36)	-(5:10)	-(11:0)
إبريل	4:16	-(4:11)	5:56	-(12:07)
مايو	14:15	2:50	16:53	3:31
يونيو	21:57	2:25	22:47	1:15
أغسطس	18:12	-(6:17)	16:21	-(5:40)
سبتمبر	8:33	-(0:15)	5:58	2:03
أكتوبر	2:54	-(10:02)	-(5:36)	12:11
نوفمبر	-(14:12)	16:20	-(16:22)	16:16
ديسمبر	-(21:41)	-(11:14)	-(22:28)	8:26

تعيين التوقيت الشمسي: Determination of the solar time

كل قيم الوقت في حسابات الطاقة الشمسية تقدر بالتوقيت الشمسي الظاهري (المعروف كذلك بالتوقيت الشمسي الحقيقي). لذلك فإنه سوف يكون المطلوب تحويل توقيت الساعة إلى التوقيت الشمسي المحلي.

خط الطول جرينتش (خط الطول صفر) يؤخذ كدليل للوقت والوقت المحسوب من منتصف الليل معروف أنه التوقيت العالي أو توقيت جرينتش المدني: مثل هذا الوقت يقدر بمقياس الساعة من صفر إلى 24 ساعة.

التوقيت المحلي المدني (LCT) يتم حسابه من خط طول المكان على أي دائرة خط طول معينة. على مكان معين يكون التوقيت المحلي المدني أكثر تقدماً عنه عند نقطة نحو الغرب. الفرق يقدر بأربع دقائق من الوقت لكل فرق درجة في خط الطول.

قياس التوقيت بواسطة الحركة النهارية للشمس يسمى التوقيت الشمسي، وهو التوقيت الذي يظهر بواسطة المزولة الشمسية (Sundial) بينما اليوم المدني هو تحديداً 24 ساعة، واليوم الشمسي يختلف قليلاً بسبب عدم الانتظام لدوران الأرض، ببيضاوية مدار الأرض وعوامل أخرى، بمعنى آخر، بسبب الشكل البيضاوي لمدار الأرض ولزيادة سرعتها عند الرأس حيث النقطة الأقرب إلى الشمس (Perihelion)، طول اليوم الشمسي الظاهري، أي الفترة بين مرورين متتاليين للشمس خلال دائرة خط الطول (Meridian)، ليست ثابتة. التوقيت المحلي المدني يمكن أن يحدد من التوقيت الشمسي الحقيقي بما يعادل 4.5° بسبب حتى إذا كان طول أي يوم شمسي ظاهري والمقابل له متوسط اليوم الشمسي يختلف قليلاً، فإن التأثير يكون تراكمياً.

الفرق بين التوقيت الشمسي المحلي والتوقيت المدني المحلي (Local civil time) يسمى معادلة التوقيت. لذلك

$$(1) LST = LCT + Eq. of Time$$

الجدول السابق (1/3) يوضح القيم الأسبوعية لمعادلة الوقت لعام (1958) على طول قيم الميل. للأغراض العملية، تلك القيم يمكن استخدامها لأي سنة.

عند مكان معين، قد يختلف توقيت الساعة عن التوقيت المدني. الساعات عادة يتم ضبطها لنفس القراءة خلال المنطقة الكلية التي تعطى طول 15° من خط الطول. التوقيت في كل منطقة هو التوقيت المحلي المدني لدائرة خط الزوال (Meridian) قريباً من مركز المنطقة. مثل هذا التوقيت يسمى التوقيت القياسي (Standard time).

لذلك فإنه يمكن استنتاج أن توصيف التوقيت في كل علاقة زاوية الشمس هو توقيت شمسي، والذي لا يتطابق مع توقيت الساعة المحلي. من الضروري تحويل

التوقيت القياسى إلى توقيت شمسى باستخدام تصحيحين. الأول حيث يوجد تصميم قياسى لآى اختلاف بين المكان ودائرة خط الزوال المبني عليها التوقيت المحلى القياسى (مثال 82.5° للهند). التصحيح الثانى هو من معادلة التوقيت التى تأخذ فى الاعتبار مختلف الاضطرابات فى مدار الأرض ومعدل الدوران الذى يؤثر على الوقت، الشمس تبدو أنها تعبر دائرة الزوال للمراقب. هذا التصحيح يتم الحصول عليه من المخططات المنشورة. يمكن استنتاج التوقيت المدنى المحلى من التوقيت القياسى الهندى بمساعدة المعادلة الآتية:

$$\text{التوقيت المدنى المحلى (LCT)} =$$

$$\text{التوقيت القياسى (Standard Time)} + \text{التوقيت القياسى LST} - \text{التوقيت المحلى} \\ 4 \times L_{\text{Local}}$$

$$\text{التوقيت المحلى القياسى (LST)} = (3)$$

$$\text{التوقيت القياسى (Standard Time)} + E + \text{التوقيت القياسى LST} - 4 \times L_{\text{Local}} \\ \text{العلامة + للغرب، - للشرق.}$$

حيث:

$$E = \text{معادلة الوقت بالدقائق.}$$

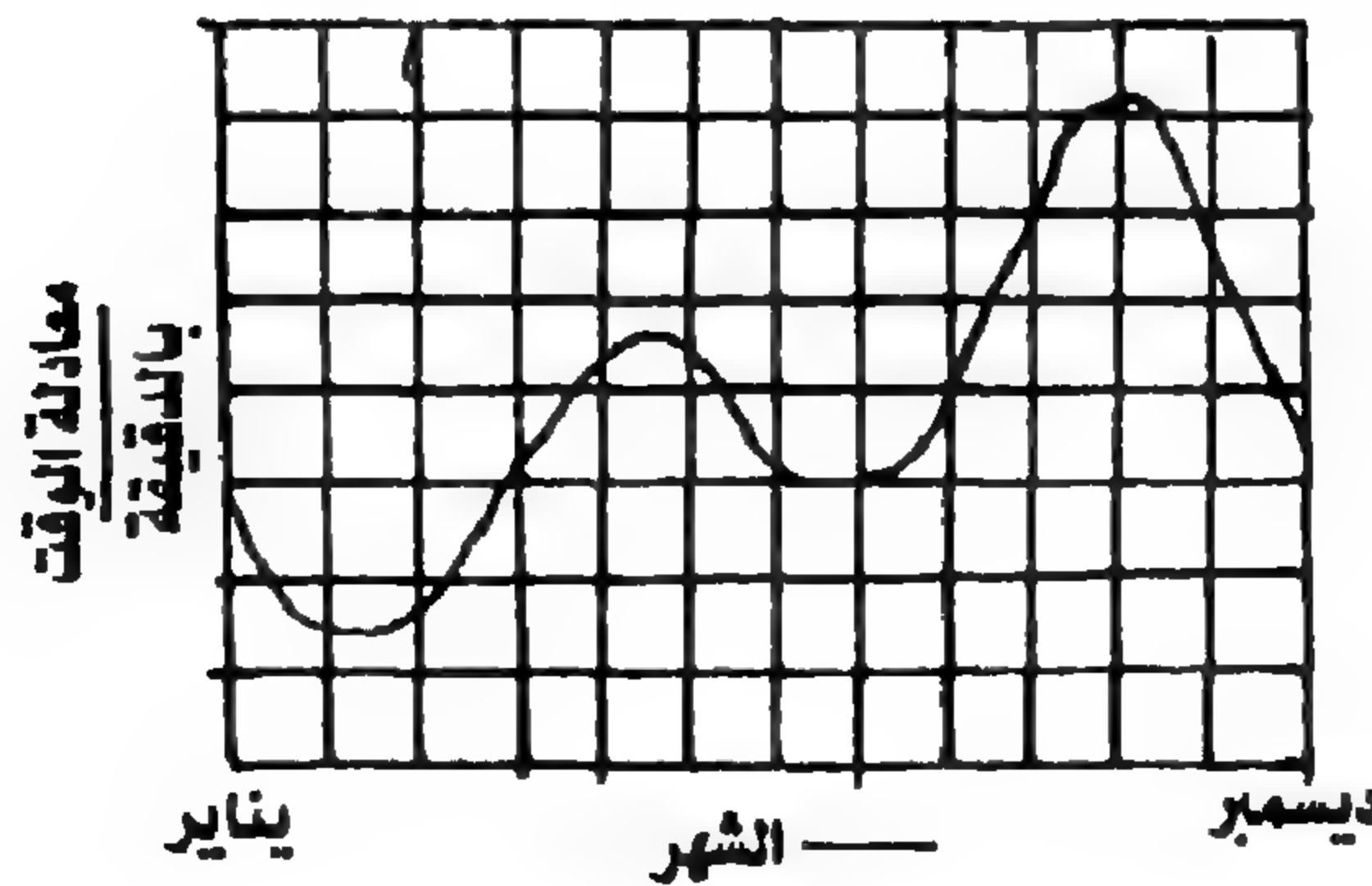
$$LST = \text{دائرة خط الزوال القياسى للتوقيت المحلى للمنطقة}$$

$$L_{\text{Loc}} = \text{خط الطول للمكان فى المعادلة بالدرجات غرب أو شرق}$$

العلامة الموجبة هى الشرق والسالبة لغرب نصف الكرة الأرضية. لذلك فإنه فى حالة الهند تؤخذ العلامة السالبة، وبالتالي تصبح المعادلة

$$LST = \text{توقيت الهند القياسى} + E - (LST - L_{\text{Loc}}) \times 4$$

شكل (12/3) يوضح معادلة تصحيح الوقت



شكل (12/3) يبين معادلة تصحيح الوقت

مثال:

عين التوقيت الشمسى المحلى المقابل لـ 10 (10.0 a.m) فى 7 فبراير لمكان فى الهند عن 87.5° شرق خط الطول.

الحل:

التوقيت الشمسى المحلى (SLT) هو التوقيت المدنى المحلى (LCT) عند 82.5° خط طول شرق (E.Longitude) عند خط طور شرق 87.5° يكون التوقيت المحلى المدنى $(82.5 - 87.5) \times 4 = 20$ دقيقة أى 20 دقيقة وقت متقدم زائد عن التوقيت المدنى عند خط طول 82.5° للشرق.

$$\text{LST} = \text{LCT} - (L_{ST} - L_{Loc}) \times 4$$

$$= 10.0 - (82.5 - 87.5) \times 4$$

$$= 10 + 10h 20' = 10:20 \text{ A.M}$$

من الجدول السابق، معادلة الوقت = - (14 دقيقة 140 ثانية)

$$\text{LST} = \text{LCT} + E$$

$$= 10:20 - (14' 14'')$$

$$= 10h 5' 46''$$

مثال:

عين LST والميل عند (Bhopal) (خط الاستواء $23^\circ 15'N$ ، خط طول $77^\circ 30'E$) عند LST 12.30 فى 19 يونيو.

الحل :

التوقيت المدنى المحلى هو بالمعادلة الآتية

$$\text{LCT} = \text{Standard time} - (L_{ST} - L_{Loc}) \times 4$$

$$= 12h 30' - (82^\circ 30' - 77^\circ 30') \times 4$$

$$= 12h 30' - (5) \times 4$$

$$= 12h 30' - 20'$$

$$= 12:10$$

التوقيت الشمسى المحلى طبقاً للآتى :

$$\text{LST} = \text{LCT} + \text{Eq of Time}$$

من الجدول (1/3) السابق معادلة الوقت E يمكن استكمالها بالنسبة لـ 19 يونيو

$$E = (1' , 10'')$$

$$\text{LST} = 12^h 10' - (1' 10'') = 12^h 8' 59''$$

يمكن إيجاد الميل باستخدام المعادلة

$$\begin{aligned} 8 &= 23.45 \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right) \\ &= 23.45 \sin\left(360 \times \frac{284 + 170}{365}\right) \\ &= 23.45 \sin 446 = 23.45 \sin 86^\circ \\ &= 23.45 \times 0.9976 \\ &= 23.43^\circ = 23^\circ 25' 56'' \end{aligned}$$



الفصل الرابع

الإشعاع الشمسي: القياسات،
البيانات والتقدير

**Solar Radiation: Measurements,
Data and Estimation**

1- معدات قياس الطاقة الشمسية :

التقدير التجريبي للطاقة المنقولة إلى السطح بواسطة الإشعاع الشمسي تحتاج إلى أجهزة التي تقيس تأثير الحرارة والتسخين للإشعاع الشمسي المباشر والإشعاع الشمسي المنتشر. كذلك يتم عمل القياسات لأشعة الضوء (Beam Radiation) والتي هي نتيجة للإشعاع الشمسي القادم من جزء صغير جداً من حول سماء الشمس. نوع جهاز الإشعاع الكلي يمكن استخدامه لقياس الإشعاع المنتشر فقط، وذلك بتظليل عنصر الإحساس من أشعة الشمس المباشر.

التقسيم :

1- المشماس أو قياس طاقة الشمس الإشعاعية: (Pyrheliometer)

قياس طاقة الشمس الإشعاعية هو جهاز لقياس كثافة الإشعاع الشمسي الساقط عند السقوط العادي، يمكن أن يكون جهاز قياس أولى أو قياسى ثانوى مدرج ومعاير بالإشارة إلى الجهاز الأولي. الأخير أحياناً يسمى جهاز لقياس شدة الإشعاع (Actinometer). المشماس هو عبارة عن تيليسكوب صغير مثل التجهيز المثبت على آلية تحريك التي تجعله يتتبع الشمس خلال اليوم.

2- جهاز قياس الإشعاع السماوى (Pyranometer)

جهاز قياس الإشعاع السماوى يستخدم لقياس الإشعاع الشمسي القادم من كل نصف الكرة الأرضية. فهو مناسب لقياس الإشعاع الشمسي أو الكونى عادة على سطح أفقى. أحياناً يستخدم المصطلح مشعاع الشمس أو مقياس الإشعاع الشمسي (Solarometer) بدلاً من كلمة (Pyranometer). فى حالة تظليله من أشعة الضوء، بحلقة تظليل فإنه يقيس إشعاع التشتت.

المشعاع الشمسي حساس للإشعاع من كل نصف الكرة الأرضية وعادة يتم تركيبه بحيث أن يكون نصف الكرة الأرضية هو القيمة السماوية. الطاقة المقاسة بواسطة جهاز قياس الإشعاع الشمسي السماوى هي تلك الطاقة المتاحة لنظام جمع الطاقة الشمسية بالتركيز (Cocusing) جهاز قياس الإشعاع الشمسي المثبت أفقياً يقيس كمية الطاقة الكلية الساقطة على سطح الأرض أو على السطح الأفقى.

3- قياس الإشعاع الأرض (بيرجيوميتر): (Pyrgometer)

مقياس الإشعاع الأرضى هو جهاز لقياس الإشعاع الأرضى فقط.

4- مقياس الإشعاع السماوى (بيرانوميتر) (Pyranometer = Solarimeter)

البيرانوميتر هو جهاز لقياس كلا من الإشعاع الشمسي والأرضى أى بالنسبة لإجمالي الإشعاعى الجوى على السطح الأسود الأفقى عند درجة حرارة الهواء العادى.

المقياس الدولي لطاقة الشمس الإشعاعية:

International Pyrheliometer Scale (1956):

مقياس طاقة الشمس الإشعاعية القياسي استخدام لسنين كثيرة (المقياس الدولي لطاقة الشمس الإشعاعية حيث استخدم مقياسه لتصحيح القياسات السابقة الحصول عليها (2% لمقياس Semithsonian، 1.5 لمقياس أنجرتون) كل الأجهزة المصنوعة ومعايرة منذ 1956 تستخدم التدرج الجديد.

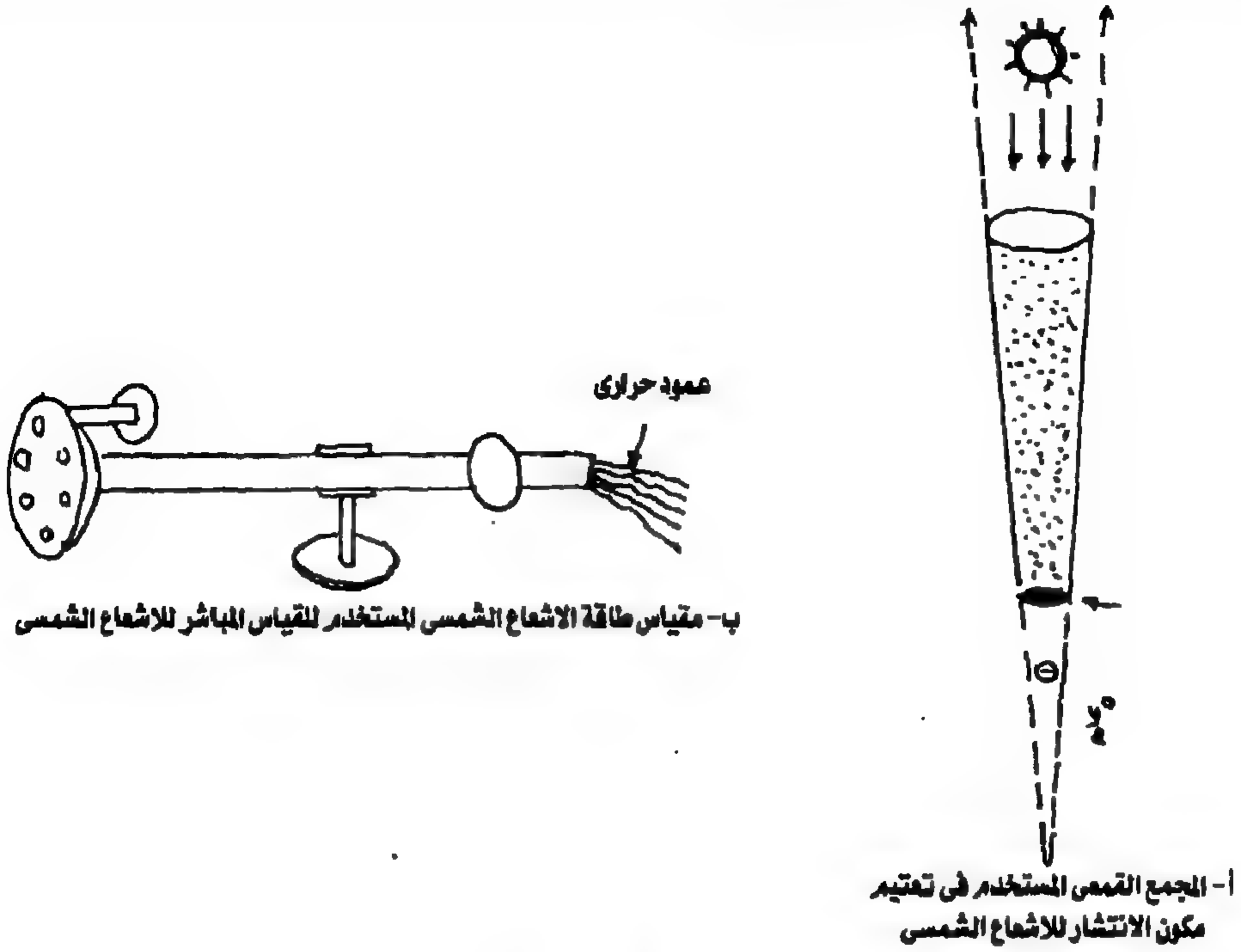
المقياس الدولي لقياس الإشعاع السماوي:

International Pyranometer Standard

لقد تمت مقارنة لمقياس الإشعاع السماوي بواسطة جمعية الطاقة الشمسية الدولية في 1971. نتيجة تلك المقارنة لعدد 21 جهاز قياس شعاع سماوي خلال العام. الهدف الرئيسي كان اختيار المقياس العياري الذي يتم استخدامه الذي سيتم به مقارنة مقياس الإشعاع السماوي.

مقياس طاقة الشمس الإشعاعية: (Phyrelimeter)

معظم أجهزة قياس طاقة الشمس الإشعاعية المستخدمة للقياسات الروتينية تعمل بتأثير العامود الحراري (بطارية حرارية) (Thermopile) وهي تشبه (البيرانيوميتر) جهاز قياس الإشعاع السماوي في هذا المجال. وهي تختلف في أنها يجب أن تتبّع الشمس ميكانيكياً لقياس الضوء الشمسي المباشر فقط. وتجنب مكون التشتت. عملياً، الإشعاع الشمسي المباشر يتم قياسه بتثبيت الجهاز على حامل استوائي يدور كهربياً لتتبع الشمس. مكون التشتت يتم تجنبه بتجهيز أنبوب موجهة الأشعة (Collimator Tube) فوق الحساس الذي هو زاوية قمع دائري حول (5°). يمكن ملاحظة أن الكثافة الشمسية التي تقاس تشمل كلاً من الإشعاع الشمسي (Beam) والإشعاع الشمسي المشتت الذي يأتي من المحيط الشمسي السماوي (Circumsolar sky)، ويجمع بواسطة مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (البيرهليوميتر) خلال مجال مقبول. عدم دقة القياس بسبب ذلك الإشعاع المشتت يصعب تقديرها وتزداد في حالات الجو الضبابية شكل (1/4).



شكل (1/4)

المشاكل مع قياسات مقياس الشمس الإشعاعية متعددة، ثقب الزاوية، إسهامات حول الشمس، مدى آلية التعقب. المشكلتين الأولين من المستحيل إيعادهم بسبب عدم القدرة على تعريف قرص الشمس بدقة ومحدودية الأبعاد لمكونات الجهاز. الموضوع العملي المأخوذ بدقة وتوجيه الحساس هم شديدا التشابه. استخدام معاملات التصحيح ليست مستخدمة فقط ولكن لا يعتمد عليها إلى حد ما. المكون الشمسي المباشر على السطح الأفقي يمكن كذلك الحصول عليه باستخدام حلقة التظليل، يتم ذلك بطرح المظلل (المنتشر) من القراءة الغير مظله (Unshaded) الكونية.

الاستخدام العملي لقياس الإشعاع الشمسي يعتمد أساساً على محاولات الطاقة (Trans ducers) الكهربائية الحرارية (Thermoelectric). ولكن، محاولات الطاقة الفوتوفولتية منخفضة السعر أصبحت أكثر قبولاً في الاستخدام، لقياس الإشعاع الشمسي المباشر فإن الأسطح المستقبلية يجب أن تكون عمودية على إشعاعات الشمس المباشرة أي الخط الواصل بين الشمس والمستقبل. ثلاث من مقاييس طاقة الشمس الإشعاعية (Pyreheliometer) استخدمت على نطاق واسع لقياس حزمة الأشعة العمودية الساقطة.

(i) مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (Angstrom)

(ii) مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (Abbot silver disk)

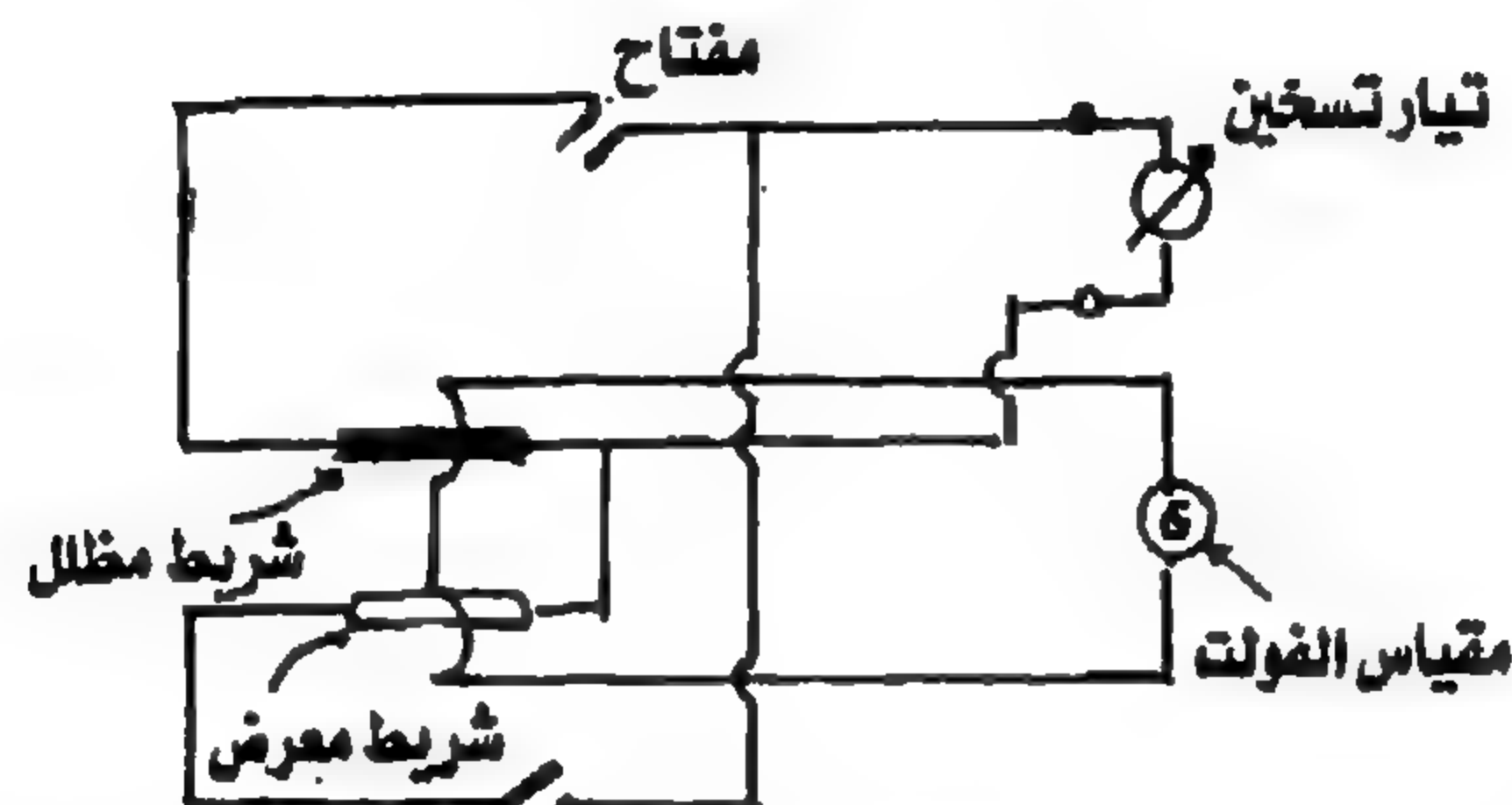
(iii) مقياس طاقة الشمس الإشعاعية Eppley

الأجهزة توفر معايير أولية وثنائية لقياسات الإشعاع الشمسي.

(i) تعويضات مقياس طاقة الإشعاع الشمسي أنجستروم:

Angstrom Compensations pyrhelimeter:

في مقياس طاقة الإشعاع الشمسي هذا يتم تسخين شريط من سبيكة المنجنين (Manganin) والتي هي من سبيكة من النحاس والمنجنيز والنيكل (في أبعاد 20 × 2 × 0.1 ملليمتر) رقيقة سوداء مظلمة حيث يتم التسخين كهربياً حتى تصل إلى نفس درجة الحرارة مثل شريط مشابه معرض للإشعاع الشمسي. وهذا موضح طبقاً للمخطط في الشكل (2/4).



شكل (2/4) مخطط لدائرة كهربية لمقياس طاقة الإشعاع الشمسي بالانجستروم (10^{-10} متر)

في ظروف حالات الاستقرار (كلا الشريطين عند درجة حرارة متشابهة) فإن الطاقة المستخدمة في التسخين تساوي الطاقة الشمسية الممتصة. المزدوجات الحرارية (Thermocouples) على ظهر كل شريط، متصلاً بالعكس خلال مقياس جهد حساس (أو أي مكتشف آخر) تستخدم لاختبار تساوي درجة الحرارة. الطاقة (H) للإشعاع المباشر يتم حسابها بواسطة المعادلة الآتية :

$$H_{DN} = K_i^2$$

حيث:

H_{DN} = الإشعاع المباشر الساقط على مساحة عمودية على أشعة الشمس.

i = تيار التسخين بالأمبيرات.

$$K = \frac{R}{Wa} \text{ هو أبعاد ثابت الجهاز}$$

حيث R هي المقاومة لوحدة الطول للشريط الماص (Ω/cm)
 W هي متوسط العرض لشريط المص، α ، cm هما معامل الامتصاص لشريط
المص

(ii) مقياس طاقة الإشعاع الشمسي أبوت القرص القضي

Abbot silver Disk pyrheliometer:

هذا المقياس يتكون أساساً من قرص من الفضة مطلي باللون الأسود موضوع عند الطرف السفلي لأنبوب مزود بأغشية (Diaphragms) لتحديد درجة الحرارة الكلية عن 5.7°C . يستخدم الزئبق في ترمومتر زجاجي لقياس درجة الحرارة للقرص. يتم توفير غطاء متحرك (Shutter) مصنوع من ثلاث أوراق معدنية عند الطرف العلوي للأنبوب للسماح للإشعاع الشمسي بالسقوط على القرص على فترات منتظمة والتغيرات المقابلة في درجة حرارة القرص يتم قياسها. ساق الترمومتر يتم إخفاؤه خلال 90° بحيث يقع على طول الأنبوب لخفض تعرضه للشمس.

الجهاز يجب معايرته مقابل معيار أولي، ولكن وجد أن استقرارها يكون جيداً وأنهم مستخدمين كثيراً لمعايرة أجهزة قياس طاقة الإشعاع الشمسي.

(iii) مقياس الإشعاع الشمسي Eppley:

Eppley Pyreheliometer

العنصر الحساس في مقياس الإشعاع الشمسي (إيلي) هو مزدوج حراري لتعويض الحرارة 15°C وصلة بزمّت فضاء المثبتة على قاعدة أنبوب من الرصاص الأصفر (Brass)، الأغشية المحددة التي تقابل زاوية (5.7°) . جهاز قياس التغيرات الطفيفة في الحرارة (Thermopile). هو أساساً سلسلة منتظمة من المزدوجات الحرارية المستخدمة لتوفير فرق جهد أكبر من الممكن باستخدام واحد فقط. الأنبوب يكون مملوء بالهواء الجاف ويتم عزله بواسطة نافذة بلورة كوارتز القابلة للإزالة.

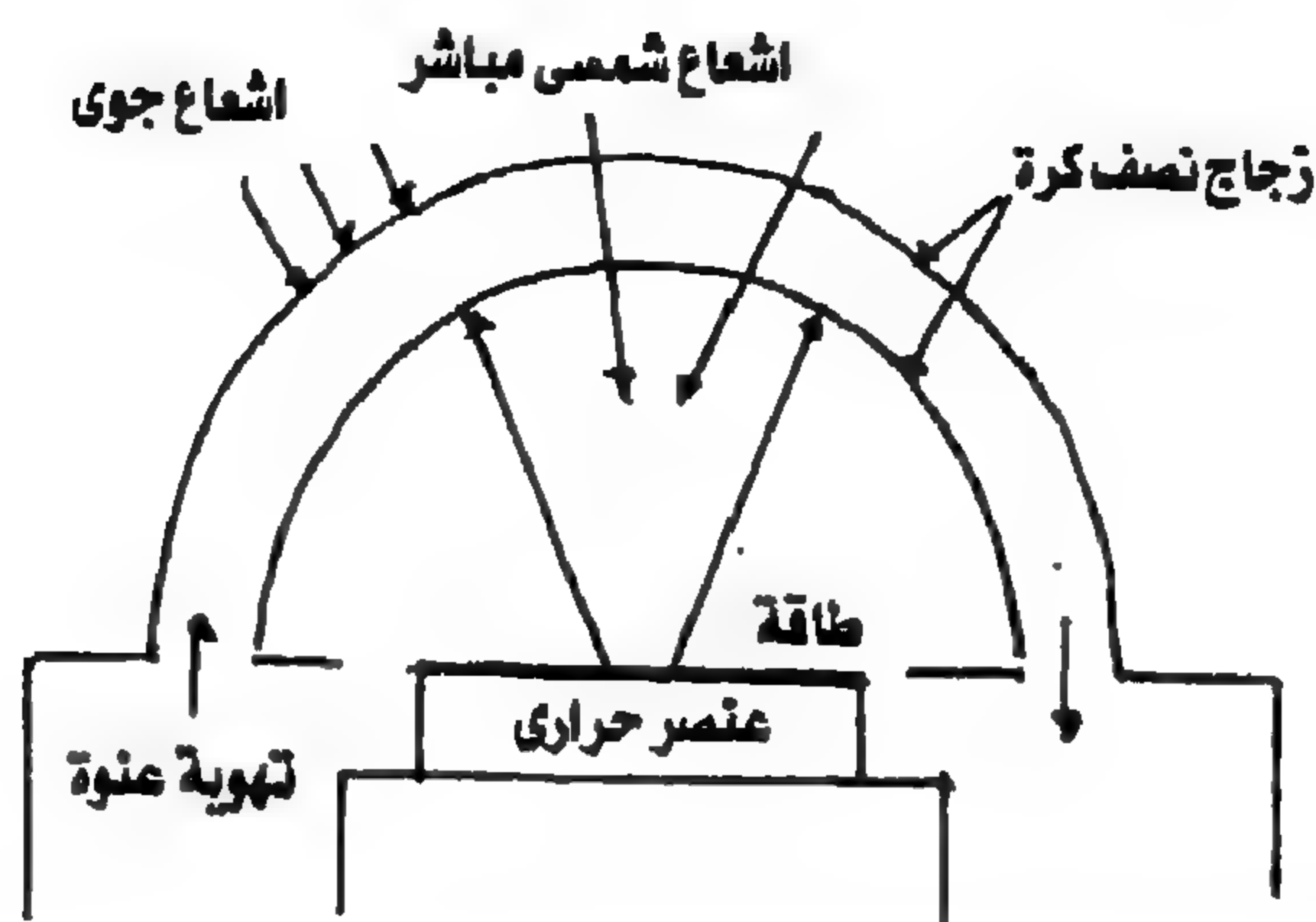
وهو جهاز مستقر ويمكن أن يستخدم كمساعد قياسي (Sub-standard) هذا الجهاز لاقى قبول في الولايات المتحدة، وفي أجزاء كثيرة من العالم.

مقياس الإشعاع السماوي: (Pyranometers)

مقياس الإشعاع السماوي العادي مبني على كشف الاختلاف بين درجة حرارة الأسطح السوداء (التي تمتص معظم الإشعاع الشمسي) والسطح الأبيض (الذي يعكس معظم الإشعاع الشمسي) بواسطة جهاز قياس التغيرات الطفيفة في الحرارة (Thermopiles). محمي جيداً من الرياح ويتم تعويضه للتغيرات في درجة الحرارة

الإشعاع الشمسي، القياسات، البيانات والتقدير

العادية، أجهزة قياس التغيرات الطفيفة في درجة الحرارة تعطى إشارات بالملي فولت التي يمكن اكتشافها بسرعة، وتسجيلها، وتكاملها مع الوقت. مقياس الإشعاع السماوي موضح في الشكل (3/4).



شكل (3/4) مقياس طاقة الإشعاع الشمسي للأشعة الكونية

أساساً يتكون مقياس الإشعاع السماوي من سطح أسود والذي يسخن عند تعرضه للإشعاع الشمسي. تزداد درجة حرارته لحين يصل معدل اكتسابه للحرارة بالإشعاع الشمسي مساوياً لمعدل فقدته للحرارة بالحمل الحراري (Convection)، التوصيل والإشعاع. الوصلات الساخنة لجهاز قياس التغيرات الطفيفة في الحرارة تكون متصلة بالسطح الأسود، بينما الوصلات الباردة تكون موضوعة بالطريقة التي لا تستقبل بها إشعاعاً، نتيجة لذلك، يتم توليد فرق جهد والذي هو قياس للإشعاع الكوني (Global Radiation).

في هذه الحالة يكون السطح الحساس معرضاً إلى الإشعاع الكلي (حزمة أشعة + المنتشر + والمنعكس من الأرض وما يحيط). ملتصق بالسطح الحساس جهاز قياس المتغيرات الطفيفة في الحرارة (Thermopile) الذي له وصله باردة معزولة كهربياً من الجزء الأسفل. الفرق في درجات الحرارة بين الوصلات الباردة والساخنة هو دلالة للإشعاع الساقط على السطح. السطح الحساس يكون مغطى بقبتين زجاجيتين نصف كروية لحمايته من الرياح والمطر والتأثيرات المناخية الأخرى.

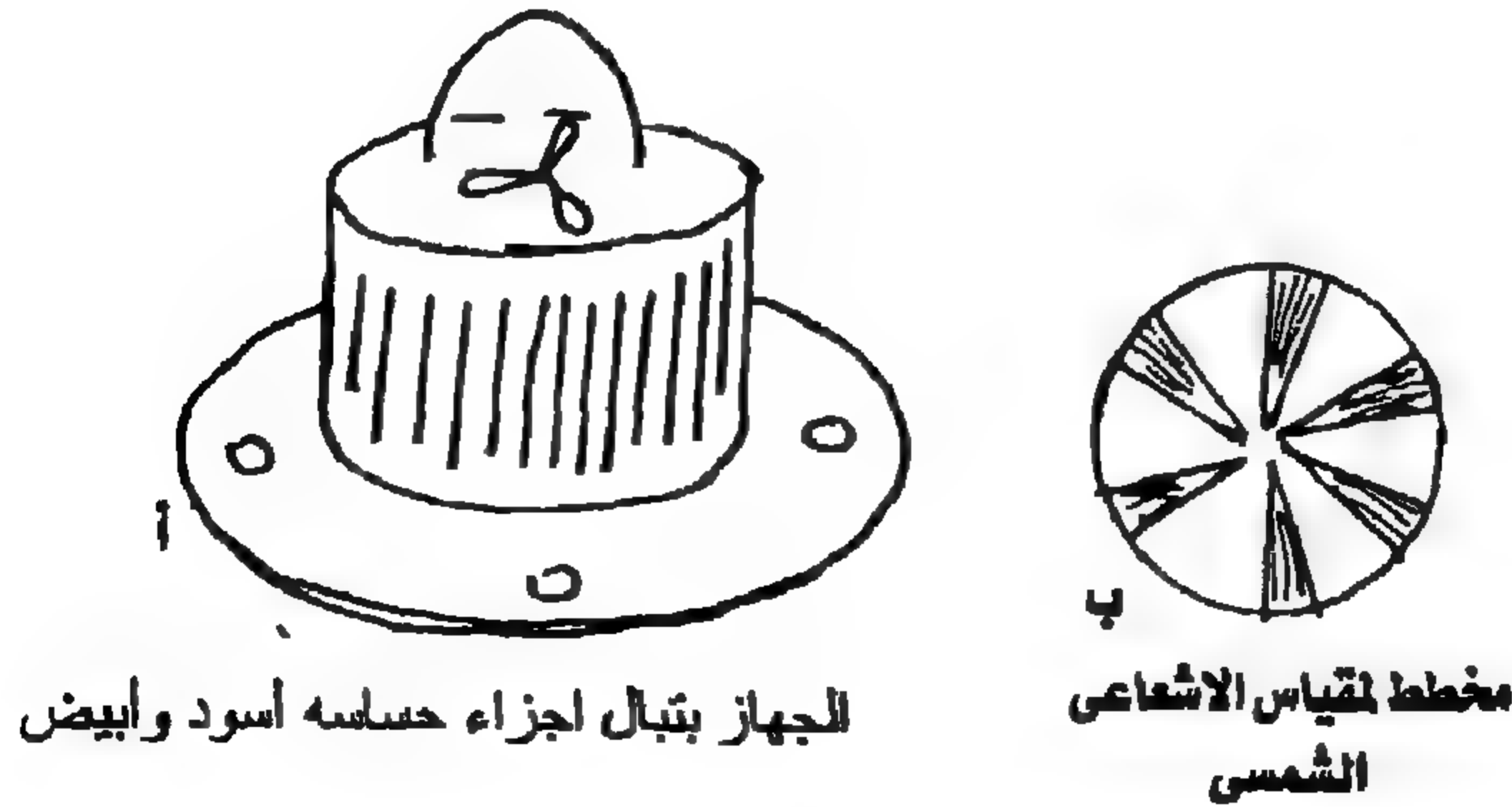
المكون الأكثر حساسية في الجهاز هو القبة الزجاجية (Glass Dome) والتي يجب أن لها خواص انتقال عالية التجانس خلال المجال الطيفي من $0.3\mu m$ إلى $3.0\mu m$.

يمكن عمل قياس الإشعاع المشتت بطريقة غير مباشرة فقط. الطريقة الأولى هو باستخدام مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (Pyreheliometer) لقياس الإشعاع الشمسي

المباشر عند السقوط العمودي وطرحه من قيمة الإشعاع الكلي الكوني (Total - Global) في الطريقة الثانية والأكثر استخداماً لقياس الإشعاع المشتت، حيث تستخدم تجهيزه مناسبة لمنع الإشعاع الشمسي المباشر من الوصول إلى مستقبل (Receiver) جهاز قياس الإشعاع السماوي (Pyranometer). يتم تعقيم جهاز قياس الإشعاع السماوي من الإشعاع الشمسي المباشر إما بواسطة قرص الذي يعمل ليتحرك مع الشمس وبذا تبعث بظلها على المستقبل لجهاز قياس الإشعاع السماوي أو بواسطة حلقة الظل (Shadow Ring). حلقة التظليل تكون مثبتة بالطريقة بحيث يكون سطحها موازياً لسطح المسار لحركة الشمس اليومية عبر السماء، وأنها تظل عنصر جهاز قياس التغيرات الطفيفة في الحرارة (Thermopile) والقبطين الزجاجيتين لجهاز قياس الإشعاع السماوي في جميع الأوقات من ضوء الشمس المباشر. لذلك، فإن جهاز قياس الإشعاع السماوي يقيس الإشعاع المشتت فقط القادم من السماء. يحمل جهاز قياس الإشعاع السماوي على حلقة تظليل.

(i) جهاز قياس الإشعاع السماوي إبلي (Eppley Pyranometer)

وهو مبني على المبدأ السابق وأصبح الجهاز الأكثر استخداماً. وهو يستخدم حلقات فضية متحدة المركز ذات سمك 0.25 ملليمتر، مغطاة أسود وأبيض، بواسطة وصلات مقياس التغير الحراري الطفيف 10 أو 50 لاكتشاف الفرق في درجة الحرارة بين الحلقات المغطاة (Coated Rings). النماذج التالية استخدمت أوتاد (Wedges) منظمة في إطار دائري، مع التغطيات التبادلية أسود وأبيض. الأقراص أو الأوتاد تكون محتجزة في غطاء زجاجي نصف كروي. أجهزة مشابهة مصنوعة في أوربا تحت اسم (Kipp). جهاز القياس إبلي والأجهزة المشابهة يتم معايرتها في وضع أفقي. معايرة تلك الأجهزة سوف تختلف إلى درجة ما إذا كان الجهاز مائلاً لقياس الإشعاع مقارنة في حالة السطح الأفقي.



شكل (4/4) مقياس طاقة الإشعاع الشمسي

(ii) المقياس الشمسي ييلوت (Yellot solarimeter)

الخلية الفوتوفولتية الشمسية (Photovoltaic solar cell)

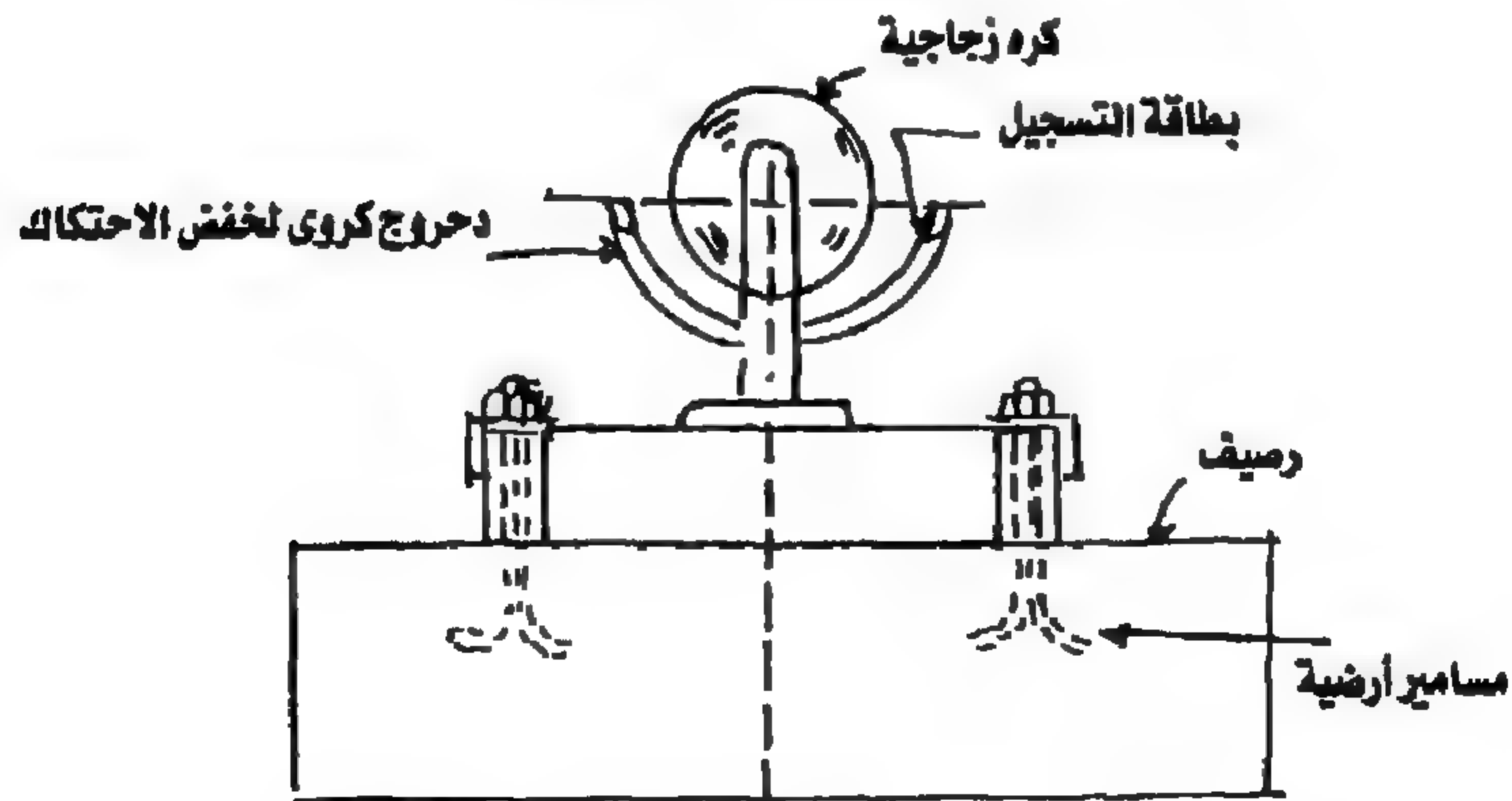
لقد استخدمت أجهزة قياس الإشعاع السماوي كذلك في الخلايا الشمسية الكاشفات الفوتوفولتية . خلايا السيليكون هي الأكثر شيوعاً في الطاقة الشمسية. خلايا السيليكون الشمسية لها خاصية أن تيارها الخفيف (Light current) (يساوي تقريباً تيار القفله (Shortcircuit) عند مستوى الإشعاع العادي) هو دلالة طولية للإشعاع الشمسي الساقط. وسليبياتها أن رد الفعل الطيفي ليس طويلاً، لذلك فإن معايرة الجهاز هي بدلالة التوزيع الطيفي للإشعاع الساقط.

أجهزة قياس الإشعاع السماوي الأخرى المستخدمة هي:

Moll Gorezyneeki solarimeter, Bimetallic Actinographs of the Rabitzschtype, velochine pyranometer, thermoelectric pyranometer.

4- مسجل الإشعاع الشمسي (Sun Shine Recorder)

يكون مطلوباً كذلك فترة لسطوع الشمس في اليوم. ذلك الجهاز يستخدم لقياس الفترة بالساعات لسطوع الشمس خلال اليوم. وهو يتكون أساساً من كره زجاجية مثبتة على مقطع من التجويف الكروي من النحاس الأصفر (Brass) مع وجود أخاديد لإمساك بطاقات السجل. الكره تحرق مسار على البطاقة عند تعرضها للشمس، طول المسار لكونه قياس مباشر لفترة سطوع ضوء الشمس. توجد مجموعة من الأخاديد لأخذ ثلاث مجموعات من البطاقات، الطويل المنحني للصيف، القصير المنحني للشتاء، والبطاقات المستقيمة عند الاعتدال الربيعي أو الخريفي.



شكل (5/4) مسجل الإشعاع الشمسي

الكره الزجاجية والتي هي بقطر حوالي 10سم ومحورها مثبت على مقطع تجويف كروي موازي لذلك للأرض. الكره تعمل كعدسة والصورة المركزة للشمس تتحرك

على طول ورقة معدة خصيصاً التي تحمل تدرج الوقت. مع كثافة إشعاع الشمس أكثر من 200 وات/ المتر المربع، يحدث تأثير إحراق على الورقة. طريقة حلم الكره تختلف وتتوقف على المكان حيث يحدث القياس، تحديداً خط العرض القطبي. (Polar latitude)، استوائى، معتدل. يتم توفير ثلاث من أزواج الأخاديد المتطابقة فى الجزء الكروى لتثبيت الكره لمختلف المواسم خلال العام.

يمكن ملاحظة أن الجهاز لا يعطى ساعات سطوع شمسي مضبوطه لأنه فى ساعات الصباح والمساء الإشعاع الشمسي لا يكون بالكثافة الكافية لحرق علامة على المخطط (Chart). ساعات سطوع الشمس تقاس فى كل العالم باستخدام سجلات سطوع الشمس ماركة (Campbell stokes).

5- معلومات وبيانات الإشعاع الشمسي : (Solar Radiation Data)

معلومات الطاقة الشمسية متاحة فى أشكال متعددة ويجب أن تشمل المعلومات الآتية :

1- ما إذا كانت قياسات لحظية أو قيم تكاملية خلال بعض من الوقت (عادة ساعة أو يوم).

2- وقت الفترة الزمنية للقياس.

3- سواء كانت القياسات لحزمة أشعة (Beam) أو التشتت أو للإشعاع الكلى والجهاز المستخدم.

4- توجيه السطح المستقبل (عادة أفقى، يمكن أن يكون مائلاً عند ميل ثابت، أو عمودى).

5- فى حالة المتوسطات، فإن الفترة التى يتم خلالها أخذ المتوسطات (مثال، متوسط شهرى، أو يومى للإشعاع).

معظم المعلومات والبيانات نحو الإشعاع الشمسي المستقبل على سطح الأرض يتم قياسها بواسطة المقياس الشمسي (Solarimeter) الذى يعطى قراءات للقياسات اللحظية عند معدل خلال اليوم للإشعاع الكلى على سطح أفقى.

توحيد التوقيع لمعدل الطاقة المستقبلية بمعدل وحدة الزمن على وحدة المساحة خلال كل اليوم يعطى للانغلى (وهذه هى وحدة لقياس الإشعاع الشمسي Langley) للإشعاع المستقبل على سطح أفقى. فمثلاً، الإشعاع الشمسي الكلى اليومى المستقبل فى كلكتا (خط عرض 20° 32 شمالاً) على أساس المتوسط السنوى هو 680 لاتغلى (أى 680 كالورى/سم² فى اليوم).

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

بيانات الإشعاع الشمسي متاحة كذلك من الخرائط - الخرائط يمكن استخدامها كمصدر لمتوسط الإشعاع في حالة عدم توفر البيانات.

كذلك توجد مخططات متاحة للإشعاع الأفقي لليوم الصافي ولأي فترة لأي خط عرض. كذلك توجد جداول لساعات سطوع الشمس لمختلف الأماكن.

6- تقدير متوسط الإشعاع الشمسي:

أحد التقديرات القديمة، للمتوسط الشهري للإشعاع الشمسي (H_{av}) كان بواسطة (Angstrom) عام 1924 والذي هو

$$H_{av} = H_o' [a' + b' \frac{\bar{n}}{N}]$$

حيث:

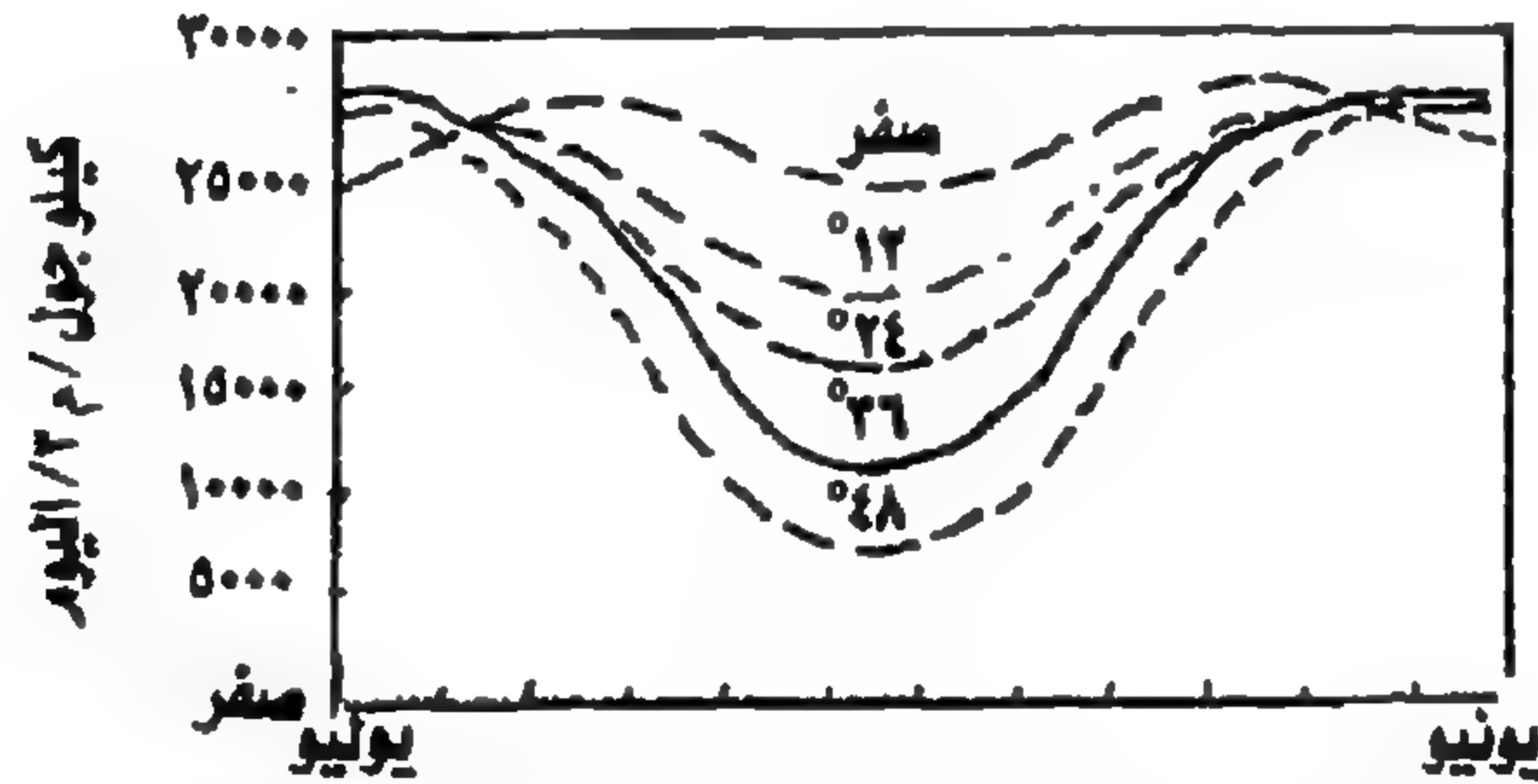
a' , b' هما ثوابت احتياطية أو تحكمية، اقترح (Freitz) عام 1951 أن $a' = 0.35$, $b' = 0.61$.

H_o' = المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي الأفقي لليوم الصافي

\bar{n} = متوسط الساعات اليومية لسطوع الشمس لنفس الفترة الزمنية.

N = أقصى ساعات يومية للسطوع الشمس لنفس الفترة الزمنية.

القيم H_o' للاستخدام في المعادلة (6) يمكن الحصول عليها من المخططات الموضحة في الشكل (6/4).



شكل (6/4) الإشعاع الشمسي على مستوى أفقي ليوم صافي عند مختلف خطوط العرض

طول اليوم يمكن الحصول عليه من المخطط البياني الذي أعده (Whillier) شكل

(7/4) أو يمكن حسابه من المعادلة $H_{av} = H_o [a + b \frac{\bar{n}}{N}]$ (7)

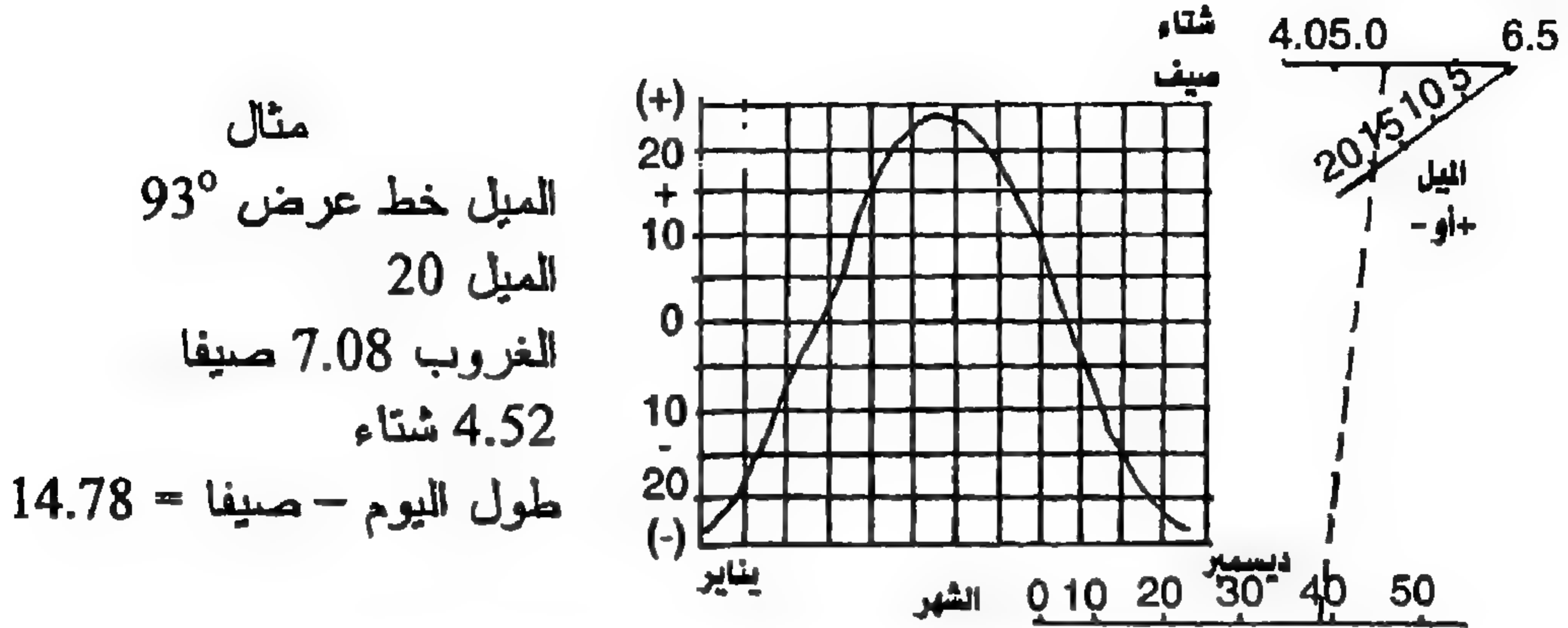
حيث:

$$H_{av} = H_o [a + b \frac{\bar{n}}{N}]$$

H_0 = متوسط الأشمس الشهري عند قمة الغلاف الجوى

a, b هما ثوابت تحكمية تتوقف على المكان.

الثوابت a, b لمختلف الأماكن وحالات المناخ يمكن الحصول عليها من الجداول القياسية.



شكل (7/4) المخطط لحساب طول اليوم بالساعات

7- تقدير الإشعاع المباشر والمشتت

Estimation of Direct and diffused radiation:

أ- فى الأيام حيث لا توجد سحب :

عند دخول الشعاع الشمس إلى الغلاف الجوى فإن بعضاً منه يمتص وبعضاً منه ينتشر والباقى يخترق الغلاف الجوى. الأشعة التى اخترقت تسمى الإشعاع المباشر بينما الجزء من الإشعاع المنتشر الذى يصل إلى الأرض يسمى الإشعاع المشتت (Diffused). التعبير الإشعاع المشتت يعنى به الإشعاع قصير الموجة نسبياً الآتى من السماء وليس من الإشعاع الحرارى الجوى والذى له أطول موجة أطول كثيراً عن الإشعاع السماوى المنتشر. كلا النوعين من الإشعاع يتأثر بمحتوى الغلاف الجوى من الأوزون، المحتوى من بخار الماء، والمحتوى من الغبار والارتفاع الشمسى وعوامل الاستنزاف للأشعة الأخرى، التى تؤثر عليهم كذلك. لقد وجد Jordon, Liu فى عام 1960 أن الأماكن الخالية من الغبار مع أدنى محتوى من بخار الماء فى الجو فإن كلا من الإشعاع المشتت (Diffuse) والمباشر (Direct) يختلف بالنسبة لكل منهما بطريقة طولية وكلاهما دلالات لكتلة الهواء.

لقد اقترح العالمان (Jordon, Liu) المعادلة الآتية للأماكن الخالية من السحب ومن الغبار.

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

$$T_d = 0.2710 - 0.2930 T_D$$

$$T_d = 0.3840 - 0.4160 T_T$$

حيث T_d = هو معامل الانتقال للإشعاع المشتت على سطح أفقي، H_d/H_o النسبة للإشعاع المشتت إلى الإشعاع الشمسي خارج جو الأرض المستخدم. كان الإشعاع الشمسي خارج جو الأرض للعالمين (Jordan, Liu) هو (0.1396 W/Cm^2) . كذلك $TD = H_b/H_o$ هي نسبة الإشعاع المباشر إلى كثافة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي، $T_T = H/H_o$ هي نسبة الإشعاع الشمسي إلى كثافة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي.

ب- أثناء الأيام حيث توجد السحب:

لقد اقترح كلا من Pat, Sharma المعادلة الآتية لحساب الإشعاع الشمسي المباشر والمشتت على سطح أفقي

$$(1) \frac{H_b}{H} = \left[\frac{CN}{CN + K} \right] \left[\frac{A \sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha + CN} \right]$$

$$(2) H_d = H - H_b$$

H = الإشعاع الشمسي الكلي

α = زاوية ارتفاع الشمس عن الأرض بالدرجات.

CN = أرقام التجاو.

= صفر إلى 0.5 للجو حيث السحب وفوق الشواطئ

= 0.5 إلى 0.7 للجو المضطرب

= 0.75 إلى 1.1 للجو الصافي

= 1.1 إلى 1.3 للجو الصافي جداً.

كلا من A , K هما ثوابت والتي تتغير قليلاً مع زاوية الشمس كما في الجدول

التالي:

$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta + \cos \omega \cos \delta \cos \phi$$

جدول (1/4) قيم A , K في المعادلة السابقة

B	A	زاوية ارتفاع الشمس عن الأرض بالدرجات
0.832	1.7500	10
0.972	1.8250	15

1.075	1.8885	20
1.175	1.9563	25
1.245	2.2090	30
1.300	2.0747	35
1.335	2.1159	40
0.365	2.1489	45
0.390	2.1703	50
1.410	2.1910	55
1.458	2.2074	60
1.440	2.1177	65
1.553	2.2379	70
1.428	2.2364	75
1.463	2.2423	80
1.470	2.2500	85
1.4750	2.2542	90

8- نسبة إشعاع الحزمة الضوئية على السطح المائل إلى تلك على السطح الأفقي:

في الحساب الشمسي يكون من الضروري عادة تحويل البيانات للإشعاع كل ساعة (مقاس أو مقدار) على سطح أفقي إلى ذلك على سطح مائل. يلاحظ عادة أن أجهزة القياس تغطي قيم الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي. ولكن معظم المعدات الشمسية لامتصاص الإشعاع الشمسي تكون مائلة بزاوية نحو الأفقي. لذلك فإنه يكون من الضروري حساب كثافة الإشعاع التي تسقط على سطح أفقي أو مائل. الشكل 4/8 يبين الإشعاع على السطح الأفقي أو المائل. لذلك فإنه يكون :

$$H = H_n \cos \theta_2$$

$$H_T = H_n \cos \theta_T \text{ و}$$

$$R_b = \frac{H_T}{H} = \frac{H_n \cos \theta_T}{H_n \cos \theta_2} = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_2}$$

بإستبدال قيم $(\cos \theta_2)$, $(\cos \theta_T)$ من المعادلات (1) و (3) فإننا نحصل على

$$R_b = \frac{\sin(\phi - s) \sin \delta + \cos(\phi - s) \cos \delta \cos W}{\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos W}$$

حيث : R_b = نسبة الإشعاع على السطح المائل H_T إلى الإشعاع على السطح الأفقي H .

θ_2, θ_T زوايا السقوط للحزمة الضوئية على كلا من الأسطح المائلة والأفقية.

توجد مخططات لقيمة R_b مقابل الميل لزاوية ارتفاع معينة وميل معين.

9- نسبة الإشعاع الكلي على السطح المائل لذلك على السطح الأفقي:

مكونات الحزمة الضوئية والتشتت للإشعاع الشمسي يتم امتصاصها في مجمع السطح المستوي. معامل التصحيح الزاوي تم تعيينه لحزمة الإشعاع الضوئي (Beam radiation) في البند الأخير. التصويب لإشعاع التشتت يمكن استخدامه للأيام الصافية، لذلك فإنه يمكن فرضية أن أصلهم هو قرب الشمس، أي أن الانتشار للإشعاع الشمسي هو غالباً انتشار إلى الأمام. لمثل تلك الحالة يمكن افتراض أن R تساوي (R_b) حيث R هي معامل التصميم لكل من الإشعاع المباشر والمشتت.

$$\frac{H_T}{H} = R$$

$$H_T = R (H_b + H_d)$$

بالنسبة للأيام حيث الضباب والسحب يمكن افتراض أن إشعاع التشتت كما أنه موزع بانتظام على السماء. النسبة المؤثرة للطاقة الشمسية على السطح المائل إلى تلك على السطح الأفقي هي عندئذ.

$$R = \frac{H_T}{H} = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H}$$

قام كلا من Jordon, Liu بتطوير هذا النموذج باعتبار الإشعاع على السطح المائل أنه مكون من ثلاث مكونات، إشعاع الحزمة الضوئية (Beam Radiation)، الإشعاع الشمسي المشتت (Diffuse solar radiation) والإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض الذي يراه السطح المائل، السطح المائل بميل (S) من الأفقي يرى $(1 + \cos S/2)$ من القيمة السماوية وهذا كذلك هو معامل التحويل للإشعاع المشتت. كذلك فإن السطح المائل يرى الأرض أو الأشياء المحيطة الأخرى وإذا كانت تلك الأشياء المحيطة الأخرى لها انعكاس مشتت قيمته (P) للإشعاع الشمس، فإن الإشعاع المنعكس من الأشياء المحيطة على السطح من إجمالي الإشعاع الكلي هو:

$$(H_b + H_d) (1 - \cos S) P/2$$

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير
بتوحيد الثلاث مصطلحات، فإن إجمالي كثافة الإشعاع الشمسي أو (FLUX) الساقط على السطح المائل يكون كالاتي:

$$H_T = H_b R_b + H_d \frac{1 + \cos \delta}{2} + (H_b + H_d) \frac{(1 - \cos \delta)}{2} P$$

$$R = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + \cos \delta}{2} + \frac{(1 - \cos \delta)}{2} P$$

اقترح Jordon , Liu أن $P = 0.2$ عندما لا يكون هناك برد، 0.7 عندما يكون هناك غطاء من الثلج. والمنطقتان فإن قيمة $P = 0.2$ مقبولة عموماً.
مثال:

- أ- أوجد R_b في 15 فبراير، لسطح مائل بزاوية 30° نحو خط الاستواء عند الساعة العاشرة قبل الظهر لمكان، حيث خط العرض $= 20^\circ 51' N$.
- ب- إذا كان 0.25 من إجمالي الإشعاع الشمسي يكون مشتملاً، 0.57 يكون إشعاع الحزمة الضوئية. قدر قيمة R بفرض أن مكون التشتم ساقط بانتظام على السطح من السماء والأرض.
- ج- أحسب قيمة R طبقاً لنموذج Jordon , Liv

الحل :

- أ- بفرض أن الساعة العاشرة قبل الظهر كتوقيت شمسي ، زاوية التوقيت
 $30^\circ = 15^\circ \times 2 = W$ (hour Angle)
 $-0.15^\circ = 30^\circ - 29^\circ 51' = \phi - S$

$$(1) H_b = \frac{\cos(\phi - s) \cos \delta \cos W + \sin(\phi - s) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos W + \sin \phi \sin \delta}$$

$$8 = 23.45 \sin \left(360 \times \frac{284 + 46}{365} \right)$$

$$= 23.45 \sin 235^\circ$$

$$= -23.45 \times 0.5736$$

$$= -13.45^\circ \text{ أو } -13^\circ 27'$$

بإستبدال القيم في (1) لذلك

$$R_b = \frac{\cos 0.15 \cos(-13.45) \cos + \sin(-0.15) \sin(-13.45^\circ)}{\cos 29.85 \cos(-13.45) \cos 30 + \sin 29.85 \sin(-13.45^\circ)}$$

$$= \frac{1 \times 0.9725 + 0.8660 + 0.0026 \times 0.2325}{0.8673 \times 0.9725 \times 0.866 - 0.4978 \times 0.2325}$$

$$= \frac{0.84218 + 0.00060}{0.7304 - 0.1157} = \frac{0.84278}{0.6147} = 1.3710$$

$$R = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H} \quad \text{ب-}$$

$$= 0.75 \times 1.3710 + 0.25$$

$$= 1.2782$$

ج- طريقة Jordon , Liv

(i) باستبدال لحال عدم وجود برد $0.2 = P$

$$R = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + \cos \delta}{2} + \frac{(1 - \cos \delta)}{2} P$$

$$= 0.75 \times 1.3710 + 0.25 \frac{1 + 0.866}{2} + \frac{1 - 0.866}{2} 0.2$$

$$= 1.0128 + 0.2332 + 0.0135 = 1.2595$$

(ii) بالنسبة لحالة وجود برد (ثلج) $0.2 = P$

$$R = 0.75 \times 1.3710 + 0.25 \frac{1 + 0.866}{2} + \frac{1 - 0.866}{2} 0.2$$

$$= 1.0128 + 0.2332 + 0.0135 = 1.2595$$

(iii) بالنسبة لحالة وجود برد (ثلج) $0.7 = P$

$$R = 0.75 \times 1.3710 + 0.25 \frac{1 + 0.866}{2} + \frac{1 - 0.866}{2} 0.7$$

$$= 1.0282 + 0.2332 + \frac{0.134}{2} \times 0.7$$

$$= 1.0282 + 0.2332 + 0.0469$$

$$= 1.3083$$



الفصل الخامس

المجمعات الشمسية:

مجمعات لوح السائل المستوى

Solar collectors:

Liquid flat plate collector

1- مقدمة :

المجمع الشمسي (Solar collector) هو تجهيز مصمم لامتصاص الإشعاع الشمسي الساقط ونقل الطاقة إلى السائل الذي يمر بالاتصال معها. استخدام الطاقة الشمسية يتطلب المجمعات الشمسية. يوجد نوعين وهما المجمع ذو اللوح المستوي (Flat plate) ومجمع التركيز (Focusing).

يمكن استخدام تقسيم المجمعات الشمسية طبقاً لخصائصها في التجميع، وطريقة تثبيتها ونوع سائل الانتقال المستخدم.

خصائص التجميع : (Collecting characteristics)

مجمع اللوح المستوي أو بدون تركيز هو الذي فيه سطح الامتصاص للإشعاع الشمسي يكون مستويًا بدون أي وسائل لتركيز الإشعاع الشمسي القادم. مجمع التركيز هو ذلك الذي يحتوي عادةً عواكس (Reflectors) أو يستخدم طرق بصرية أخرى لتركيز الطاقة الساقطة على فتحة إلى المبادل الحراري ذو مساحة سطحية أصغر من الفتحة.

التثبيت: (Mounting)

يمكن تثبيت المجمع ليظل ثابتاً، مع الضبط لزاوية ميل (مقاسه من الأفقي) لتتبع التغير في ميل الشمس أو أن يتم التصميم لتتبع الشمس. التتبع يتم باستخدام إما بالركوب الاستوائية (حيث يبقى المجمع موجهًا نحو الشمس) (Equatorial Mounting)، أو ركوبه ارتفاعية (Altazimuth mounting)، بهدف زيادة الامتصاص للإشعاع الشمسي اليومي.

نوع المائع : (Types of fluid)

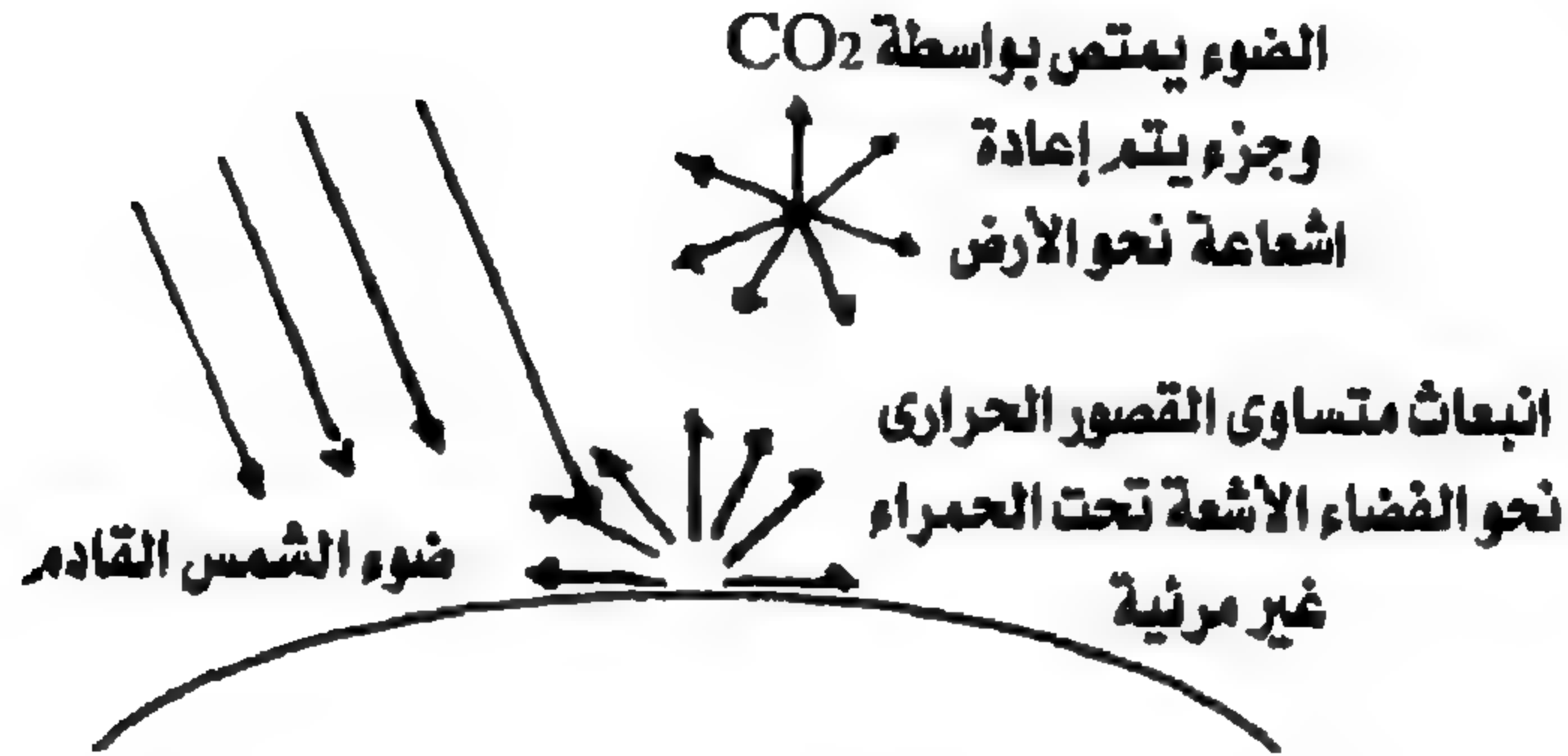
المجمع الشمسي يستخدم عادةً سائل أو غاز كمائع انتقال. السوائل الأكثر استخداماً هي الماء أو محلول من الماء - الإيثيلين جليكول. الغاز المستخدم عادةً هو الهواء.

2- المبادئ الطبيعية لتحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة:

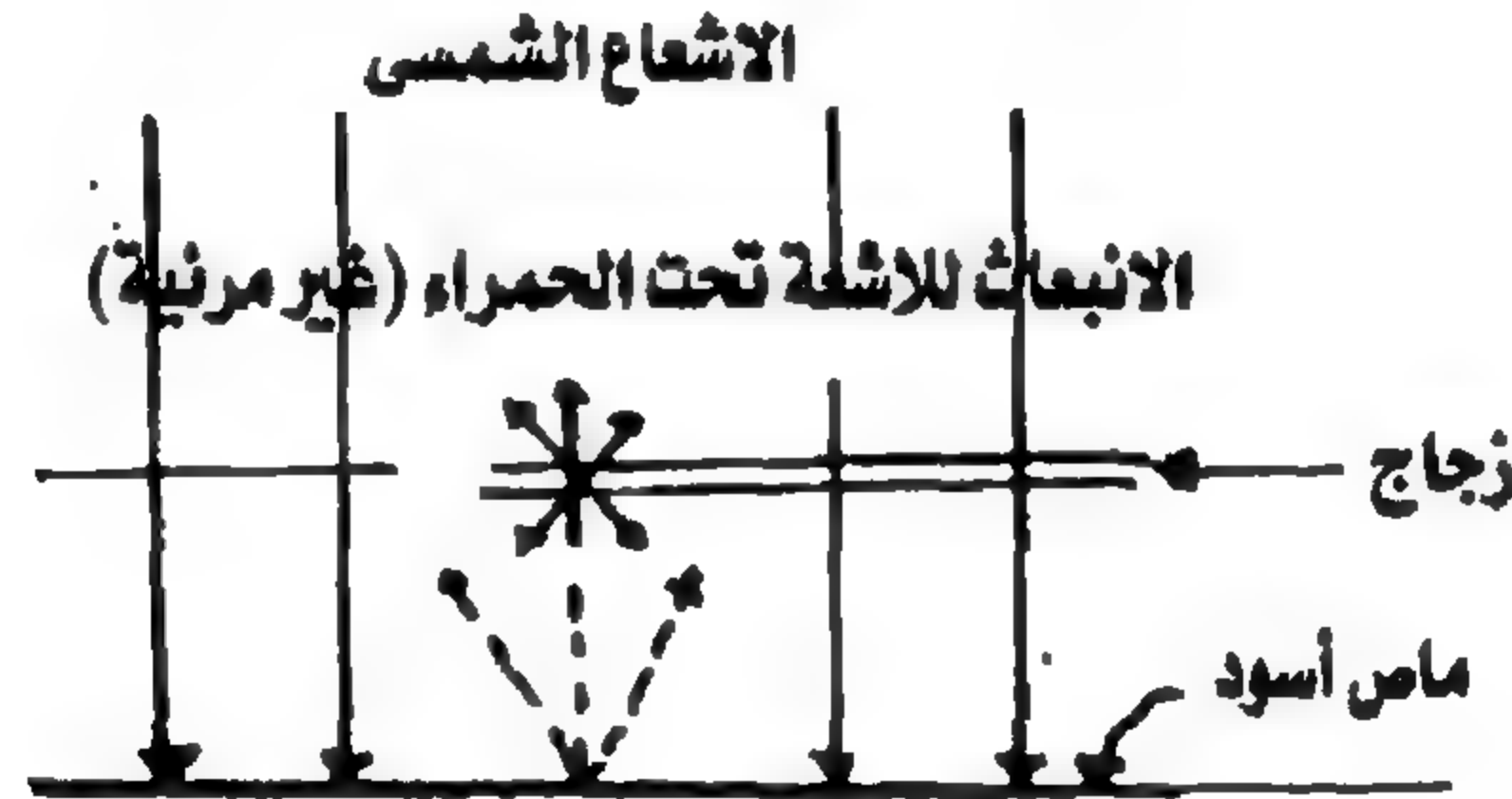
العملية الأساسية المستخدمة حالياً لتحويل الحرارة هي تأثير البيت الزجاجي (الصوبة) (Green House effect). الاسم يأتي من البيوت الزجاجية التي يمكن فيها نمو النباتات الغير متوطنة Exotic في الأجواء الباردة، خلال فصل استخدام للمناخ من ضوء الشمس.

الإشعاع الشمسي؛ القياسات، البيانات والتقدير

الشكل (1/5) يوضح كيفية أن درجة الحرارة على الأرض تتأثر بواسطة تأثير الصوبة. ضوء الشمس المرئي يتم امتصاصه على الأرض عند درجة حرارة 20°C ، فمثلاً، يبعث أشعة تحت الحمراء عند طول موجة حوالي $(10\mu\text{m})$ ولكن CO_2 في الغلاف الجوي يمتص الضوء ذو طول الموجة هذه ويشعه جزء منه ثانياً نحو الأرض (CO_2 لا يمتص ضوء الشمس القادم الذي له طول موجة أقصر). لذلك فإن تأثير الصوبة يسبب تراكم الطاقة على الأرض.



شكل (1/5 a) تأثير الصوبة المتعلق بمحتوى CO_2 في الغلاف الجوي



شكل (1/5 b) مبدأ تأثير الصوبة

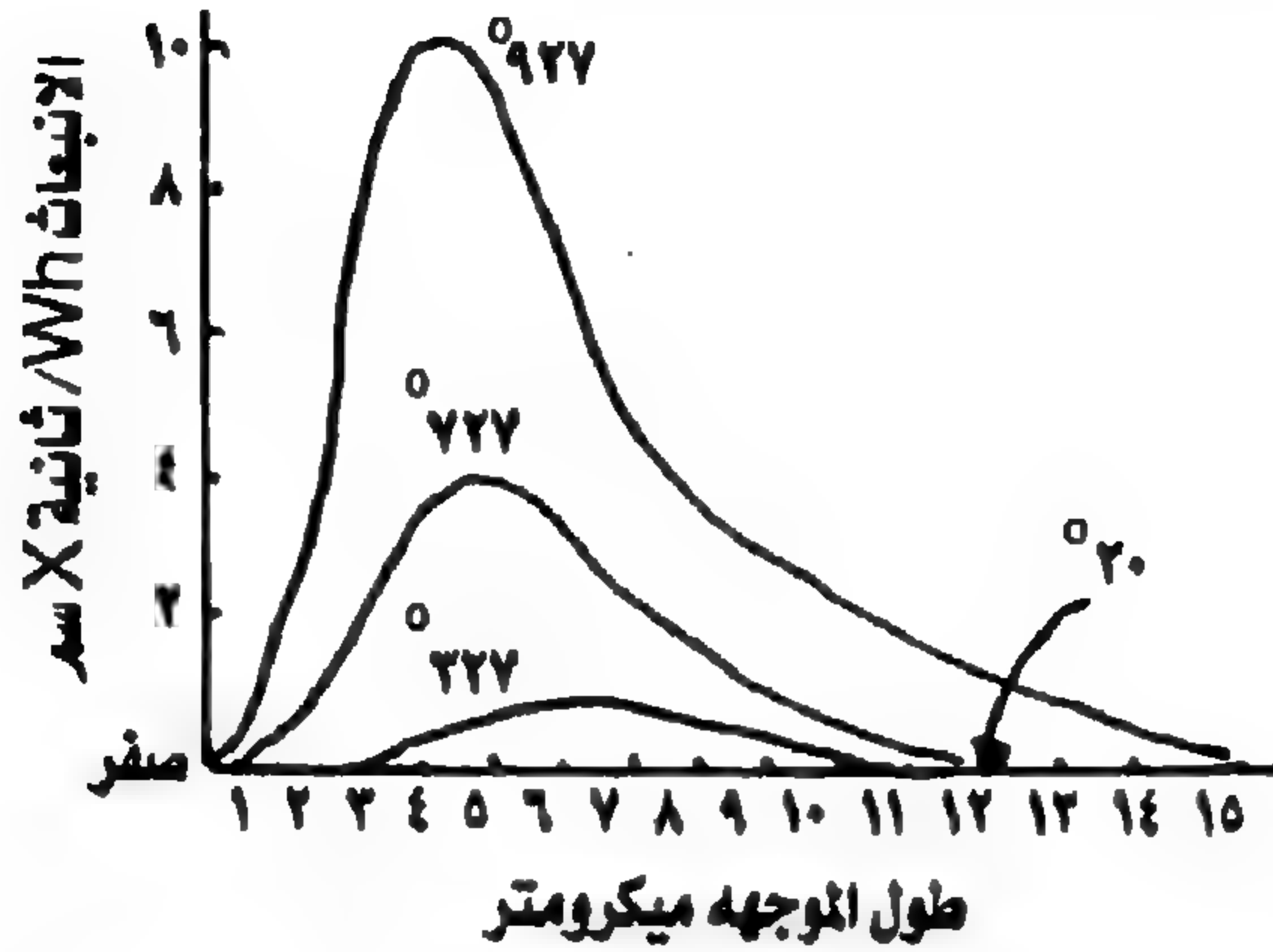
في الشكل (1/5a) يمتص اللوح ذو الطلاء الأسود ضوء الشمس الساقط. في الاتجاه المقابل، لوح مثبت له نافذة زجاجية عادية. عند زيادة حرارة اللوح الأسود، فإنه يبعث جزء من الطاقة الحرارية في شكل أشعة ضوئية تحت الحمراء (Infra Red Light) الز اللوح الماص الأسود له خواص الجسم الأسود، الأجسام السوداء المثالية ليس لديها فقط أعلا معدل امتصاص ولكن كذلك أعلا معامل انبعاث (Emission) لكل أطوال الموجات للضوء. الانبعاث يزداد بزيادة درجة الحرارة، حيث يتبع قانون (T^4). الضوء الذي يعاد انبعاثه (Re-emitted) هو ذو طول موجة أقصر على التوالي ويقدر بقانون وين (Wein's Law)، الذي يمكن كتابته كالتالي:

$$\lambda_{\text{max}} T = \text{constant} = 2989\mu\text{m Kelvin}$$

T هي درجة حرارة السطح للجسم الأسود.

λ_{max} هي طول الموجة التي عندها يصل انبعاث الضوء إلى أقصاه.

بعض الأمثلة موضحة في الشكل (2/5)



شكل (2/5) انبعاث الحجم الأسود عند مختلف درجات الحرارة

الشمس تبعث بالإشعاع مثل الجسم الأسود، الذي درجة حرارة سطحه 5700°C ، وهذا يقابل أقصى انبعاث لـ $(0.5\mu\text{m})$. الجسم الأسود عند درجة حرارة الغرفة يبعث إشعاع بأقصى عند حوالي $(10\mu\text{m})$ ، والذي يكون خلال طيف الأشعة تحت الحمراء الغير مرئية. اللوح الزجاجي العادي المثبت فوق اللوح الأسود في الصوبة الزجاجية له امتصاص طيفي يمكن رؤيته من الشكل (2/5). الشكل الجانبى للبلاستيك يكون مشابهاً. لذلك، فإن الزجاج الذي يكون شفاف نسبياً للضوء المرئي يكون ماصاً للأشعة تحت الحمراء المنبعثة بواسطة اللوح الأسود والذي يمتصها ثانياً. يتم تراكم حرارة أكثر وأكثر في هذه الطريقة في اللوح الأسود، الذي تزداد درجة حرارته لذلك. يتم الوصول إلى حالة الاتزان عندما يتم التعادل تماماً للطاقة المكتسبة بامتصاص الضوء المرئي مع الفقد في الطاقة خلال انبعاث الأشعة تحت الحمراء للوح الزجاجي. مع ارتفاع درجة الحرارة، تصبح طول الموجة لانبعاث الأشعة تحت الحمراء أقصر. عند 200°C (473°K) أقصى إشعاع منبعث عند حوالي $(6\mu\text{m})$ ، مقارنة بـ $(10\mu\text{m})$ عند درجة حرارة الغرفة. أخيراً عند حوالي 500°C (773°K) معظم الإشعاع يتم انبعائه عند $(4\mu\text{m})$ ، الذي عند طول موجة يكون الزجاج شفاف جزئياً للأشعة تحت الحمراء.



شكل (3/5) طول موجة الأشعة تحت الحمراء

لذلك فإن تأثير الصوبة الزجاجية بكفاءة يكون ممكناً فقط عند درجة حرارة أقل من 500°C ولكن، بدون مصاحبة تركيز ضوء الشمس مع تأثير الصوبة الزجاجية، فإن الاتزان التي يتم الوصول إليه يكون أقل كثيراً، لأنه، عملياً، تكون درجة حرارة الاتزان يتم خفضها بالفقد الحراري من اللوح الأسود بسبب التوصيل الحراري والحمل الحراري للهواء.

3- الوصف العام لمجمعات اللوح المستوي :

(General description of flat-plate collectors)

يمكن تقسيم المجمعات الشمسية باللوح المستوي إلى قسمين طبقاً لنوع مائع الانتقال الحراري المستخدم.

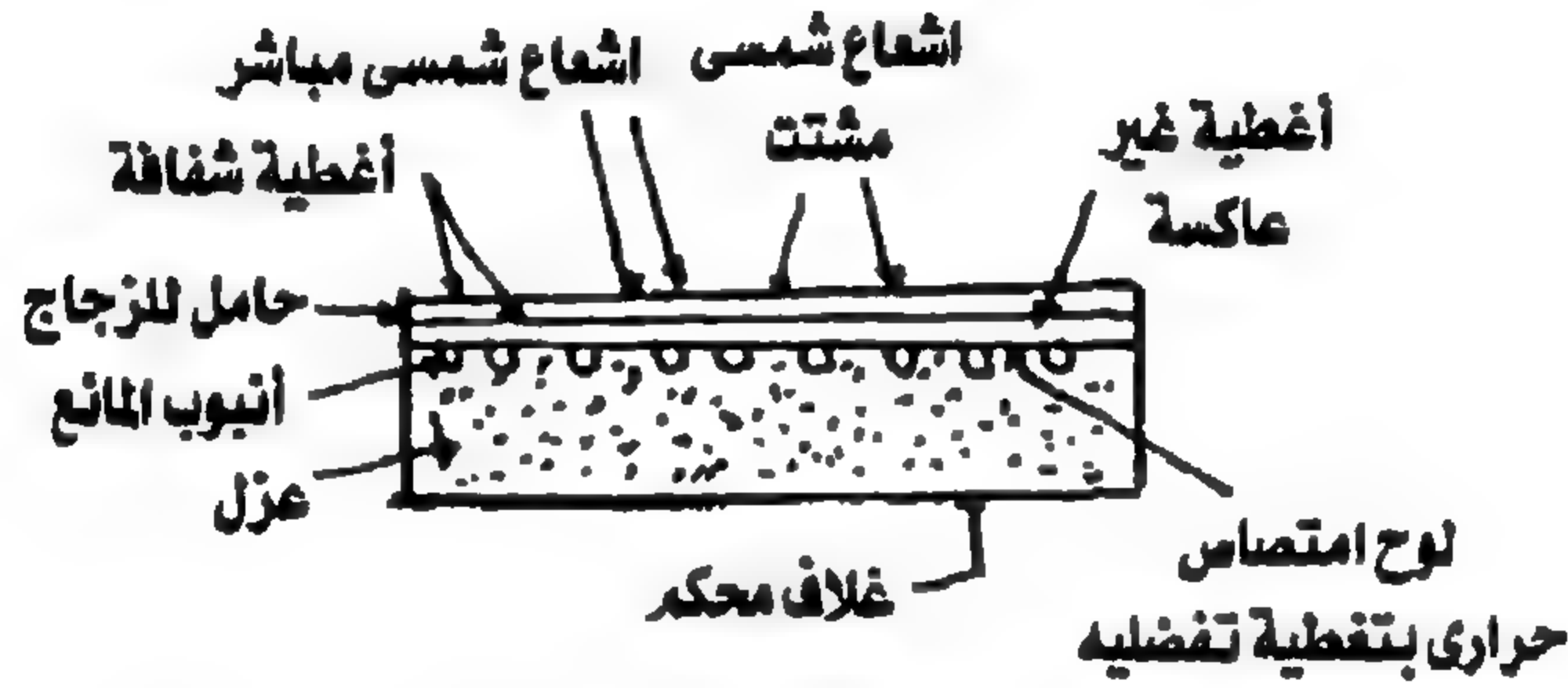
المجمعات بتسخين السائل: هذه تستخدم لتسخين الماء والمحاليل المائية التي لا تتجمد وأحياناً للسوائل الغير مائية للانتقال الحراري. تستخدم كذلك المجمعات بتسخين الهواء أو الغاز مثل سخانات الهواء الشمسية. الفرق الرئيسي بين النوعين هو تصميم مرور مائع الانتقال الحراري. معظم مجمعات اللوح المستوي لها خمسة مكونات رئيسية كالآتي:

- 1- غطاء شفاف والذي يمكن أن يكون لوح أو اثنين من الزجاج أو من طبقات البلاستيك الناقل للإشعاع.
- 2- أنابيب، زعانف (fins)، قنوات متصلة بلوح المجمع، والتي تحمل الماء، الهواء أو سائل آخر.

- 3- اللوح الماص (The absorber plate) عادة يكون معدني مع السطح الأسود، رغم استخدام أنواع أخرى من المواد، وخاصة مع سخانات الهواء.
- 4- العزل: الذي يمكن توفيره عند القاع والأجناب لخفض الفقد في الحرارة.
- 5- الغلاف أو الوعاء الذي يحتوي المكونات الأخرى ويحميها من التأثيرات الجوية.

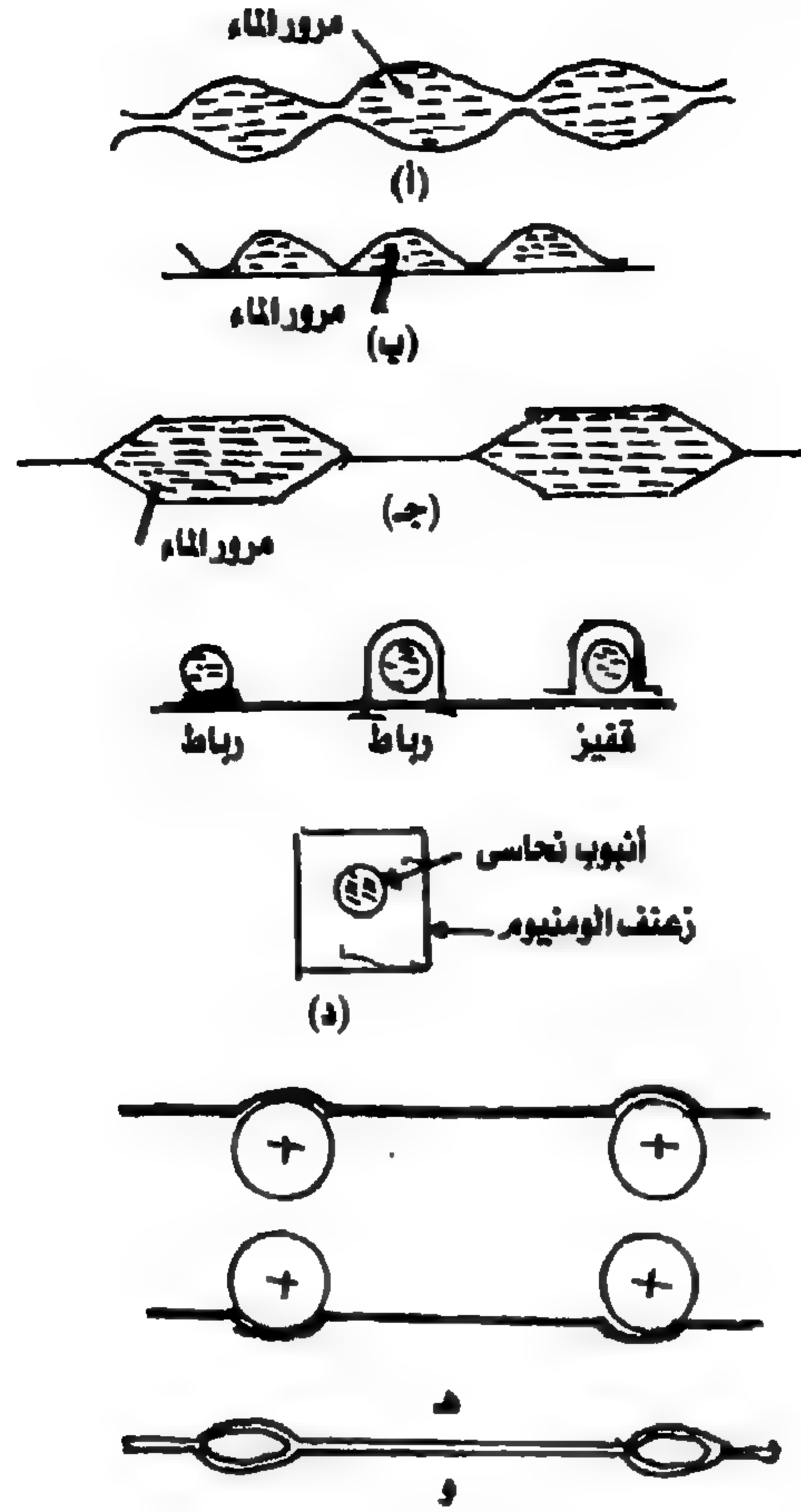
أ- نموذج للجمع السائل: (Typical liquid collector)

الشكل (4/5) هو تمثيل نموذجي لمجمع شمسي باللوح المستوي (نوع اللوح والأنبوب). وهو يتكون أساساً من سطح مستوي ذو قوة امتصاص عالية للإشعاع الشمسي، ويسمى سطح الامتصاص. النموذجي هو لوح معدني، عادة من النحاس، أو الصلب، أو الألومنيوم والأنابيب من النحاس في اتصال حراري مع الألواح، تلك هي المواد الأكثر استخداماً.



شكل (4/5) نموذج لمجمع شمسي باللوح المستوي

لوح الماص يصنع عادة من شريحة معدنية بسمك 1-2 ملليمتر، بينما المواسير التي هي كذلك معدنية، يتراوح قطرها من 1 إلى 1.5 سنتيمتر. وهي تكون ملحومة بلحام أساسه القصدير (Soldered) أو بلحام أساسه النحاس (Brazed) أو مثبت (Clamped) عند القاع (في بعض الحالات عند القمة) للوح الامتصاص حيث التباعد يتراوح بين 5 إلى 15 سم. في بعض التصميمات، تكون الأنابيب كذلك في خط مستقيم ومكملة للوح الماص. بالنسبة للوح الماص، المتاح كثيراً هو الألواح المجلفنة المموجة (Corrugated) والمتاحة في كل مكان، الشكل (5/5) يبين طريقتين التي استخدمت فيهما.



الشكل (5/5 أ، ب، ج، د، هـ، و) مقطع خلال ألواح الجمع

استخدام المشع الإطاري (Panel Radiators) التقليدي القياسي الموضح في الشكل (جـ) هو واحد من أبسط التطبيقات العملية. طريقة الربط والتثبيت للأنابيب مع اللوح المستوي أو المموج موضحة في الشكل (د)، (هـ) بينما الشكل (و) هو أنبوب في شريط أو تصميم رباط اللقيفة، الذي فيه المواسير تكون مكونة في اللوح، مؤكداً الرباط الحراري الجيد بين اللوح والأنبوب.

الحرارة تنتقل من اللوح الماص إلى نقطة الاستخدام بالتدوير للسائل (عادة الماء) عبر السطح الذي تم تسخينه بأشعة الشمس. يتم وضع عزل حراري بسمك 5 إلى 10 سم خلف اللوح الماص لمنع الفقد الحراري من مؤخرة السطح. مادة العزل عادة تكون من الصوف الزجاجي أو من شعيرات المواد الغير عضوية المعدنية (Mineral wool) أو من الشعيرات الزجاجية (Fiber glass) المقاومة للحرارة.

الغطية الأمامية هي عموماً زجاج (يمكن أن يكون واحداً أو أكثر) الشفاف للإشعاع الشمسي القادم ومعتم (Opaque) بالنسبة لإعادة الإشعاع (Re-radiation)

للأشعة تحت الحمراء من الامتصاص. الأغشية الزجاجية تعمل درع حمل حرارى (Convection shield) لخفض الفقد من اللوح الماص أسفلها. يستخدم الزجاج عموماً للأغشية الشفافة ولكن بعض الطبقات من البلاستيك يمكن أن تكون كافية. الزجاج هو المادة المحببة بكثرة. السمك من 3 إلى 4 ملليمتر هو المستخدم عادة.

عملياً هو استخدام غطاء واحد أو اثنين مع فاصل محدد من 1.5 - 3 سم. مميزات الزجاج الثانى الذى يتم إضافته فوق الأول هي:

1- الفقد بسبب الحمل الحرارى للهواء يتم خفضها. وهذا مهم فى المناطق حيث تكثر الرياح.

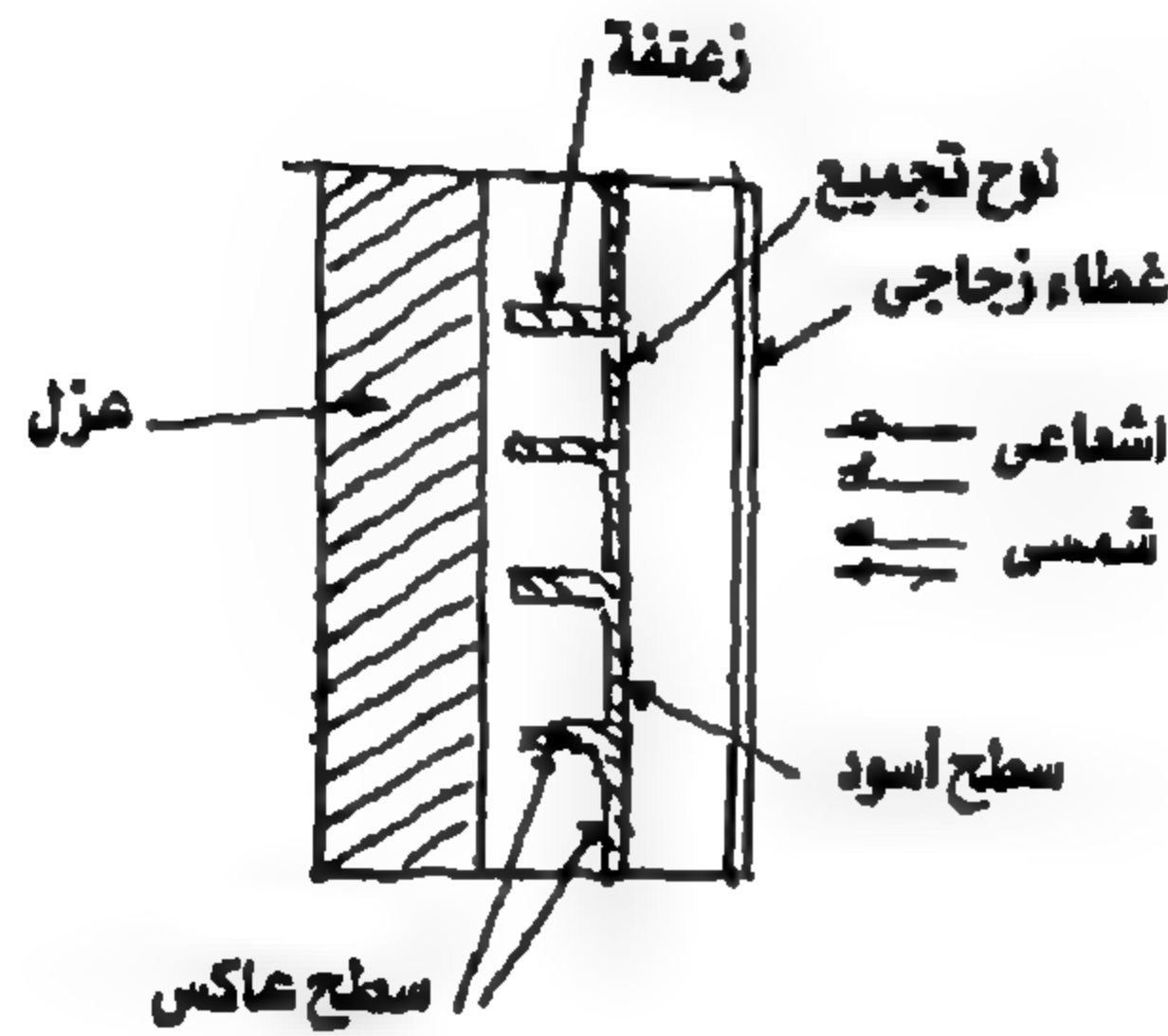
2- الفقد الإشعاعى فى الطيف تحت الحمراء يتم خفضه بنسبة 25%، ذلك لأن 50% التى تتبعث إلى الخارج من اللوح الزجاجى الأول يتم إعادة إشعاعها (Back Radiated).

لذلك فإنه لا يجوز استخدام أكثر من لوحين من الزجاج. وهذا يعود إلى حقيقة أن كل لوح يعكس حوالى 15% من ضوء الشمس القادم. بعض البلاستيك الصقيل الشفاف (Plastic glazings) تم التوصية باستخدامه. صوف الخشب المعدنى (Slag wood)، الصوف الزجاجى، فوم البولى يوريثين، الكلا المجفف فى أكياس البولييثين (Poly there bags) (لخروج الرطوبة) تلك مواد مناسبة لعزل الأجناب والقاع للمجمع (Collector). صندوق المجمع يحمل كل المكونات ويوفر الحماية من العوامل الجوية. بالنسبة لمجارى الماء (Water streams) فإن اللوح الماص يمكن أن يكون أى معدن، أو بلاستيك أو مطاط الذى يحتوى قنوات المياه، بينما لنظم الهواء يعمل الفراغ فوق أو أسفل لوح المجمع كما سورة توصيل. تشطيب السطح للوح الماص يمكن أن يكون طلاء مستوى أسود مع استخدام مادة البطانة المناسبة. طبقة البطانة يفضل أن تكون رقيقة ذلك لأن الطبقة السميكة تحت الطلاء سوف تزيد المقاومة للانتقال الحرارى. البطانة أو الطلاء الأولى (Primer) يجب أن يكون من نوع الحفر أو النمش الذاتى (Self. Ething type). إذا كانت البطانة ليست من نوع الحفر أو النمش الذاتى، فإن تكرار التمدد الحرارى والانكماش للوح يمكن أن يسبب التسييل للطلاء بعد عام أو أقل أو أكثر. توجد أنواع عديدة من التشطيبات الكيماوية أو المدعمة. الماصات من الطلاءات السوداء هى المفضلة ذلك لأنها أرخص كثيراً. السائل الذى يتم تسخينه هو الماء عادة. ولكن أحياناً يستخدم خليط من الماء والإيثيلين جليكول إذا كانت درجة الحرارة العادية أقل من صفر درجة مئوية يحتمل مقابلتها.

الأبعاد للمجمعات النموذجية هي 2 متر x 1 متر x 15 سم.

ب- مجمع الهواء النموذجي : (Typical Air collector)

الشكل (6/5) يبين مخطط لمجمع اللوح المستوى حيث يتم تسخين تيار الهواء بواسطة الجانب الخلفي للوح المجمع. الزعانف المتصلة باللوح تزيد من سطح الالتصاق. الجانب الخلفي للمجمع يكون معزولا بشدة بواسطة الصوف الزجاجي أو أي مادة أخرى (التحليل التفصيلي لمجمعات الهواء الشمسية موضح في الفصل السادس). أفضل توجيه للمجمع، للتسخين فقط، هو مواجهة الجنوب بزاوية ميل نحو الأفقي تساوي خط العرض $+15^\circ$ ($S = \phi + 15^\circ$).



شكل (6/5) مخطط لمجمع السطح المستوى حيث يتم تسخين الهواء بواسطة الجانب الأسود للوح المجمع

التغير الكثير في تصميم المجمعات لتسخين الهواء بالطاقة الشمسية موضح في الأشكال (6/2)، (6/3) الفصل السادس، مجمعات التسخين الشمسي للهواء. يمكن تمرير الهواء بالالتصاق مع سطح أسود يمتص الطاقة الشمسية مثل الألواح أو المواسير المزودة بزعانف كما ذكر سابقاً، الألواح المموجة أو الخشنة من مختلف المواد، عدة طبقات من الشبائك المعدنية والألواح الزجاجية المتطابقة. التدفق يمكن أن يكون مستقيماً فوق، أسفل، أو على كلا جانبي اللوح الماص، أو خلال مادة امتصاص مسامية.

اللوحة المستوى هو وسيلة بسيطة ومؤثرة لتجميع الطاقة الشمسية للاستخدام الذي يتطلب حرارة عند درجة حرارة أقل من 100°C . تلك المجمعات استخدمت بنجاح لتوفير المياه الساخنة للاستخدام المنزلي، التدفئة، تكييف الهواء، توليد الطاقة، ضخ المياه، وطهي الطعام وأغراض أخرى.

مميزات مجمعات السطح المستوى مقارنة بمجمعات التركيز (Focusing) هي كالتالي:

1- لا تحتوي على آلية تتبع معقدة.

2- الإنشاء بسيط نسبياً.

3- يمكن أن تستخدم كلا من المكونات المباشرة والمشتتة للإشعاع الشمسي المتاح.

4- سهولة التصنيع.

المميزات مفيدة بدرجة الحرارة (حوالي 100°C) وحقيقة أن مساحة التبادل الحراري للمجمع يجب أن تساوي مساحة فتحه المجمع.

الفقد الحراري وكفاءة مجمع اللوح المستوى :

Thermal Losses and Efficiency of Flat-Plate Collector

كفاءة المجمع الشمسي يتم وصفها بميزان الطاقة الذي يعين توزيع الطاقة الشمسية الساقطة إلى طاقة مفيدة مكتسبة ومختلف الفقد. الفقد الحراري يمكن فصله إلى ثلاث مكونات:

1- الفقد بالتوصيل (Conduction Losses)

التوصيل خلال قاع وأجناب المجمع عادة يتم إهماله إذا كان قاع المجمع وأجنابه معزولين جيداً. قيمة المعامل الكلي للانتقال الحراري إذا قلت عن $(0.69 \text{ W/m}^2\text{K}^{\circ})$ تقترح لخفض فقد القاع.

2- الفقد بالحمل الحراري (Convection Losses)

يحدث الفقد بالحمل الحراري من اللوح الماص إلى المجال المحيط خلال تبادل الحمل الحراري الفوري بين الهواء المحتجز في كل منطقة عزل وحدود كل منطقة - أغطية المجمع. في عدم وجود الرياح، يكون الفقد الخارجي بالحمل الحراري من الغطاء الخارجي بواسطة آلية الحمل الحراري الطبيعي (Natural convection)، ولكن حتى في حالة الرياح المنخفضة، يحدث الحمل الحراري عنوه وزيادة كبيرة في الفقد. (الحمل الحراري الطبيعي يحدث بدون سريان خارجي مفروض بينما الحمل الحراري عنوه يحدث في وجود سريان خارجي). تقدير الفاصل الهوائي بين أغطية المجمع عند $1.25 - 2.5$ سم يقلل الفقد الداخلي للحمل الحراري إلى أدنى مستوى ممكن.

فقد الحمل الحراري بين ألواح الزجاج يمكن تثبيطه في حالة وضع منشأ في شكل خلية ثقب قرص عسل الحل بين الماص ولوح النافذة الخارجي. ولكن، بالإضافة إلى الزيادة في التكلفة، فإن المنشأ المثقب يعكس كذلك جزء من الإشعاع القادم، بذلك منع الإشعاع الشمس من الوصول إلى اللوح الماص. كذلك فإن المنشأ المثقب في شكل الخلية يزيد من التوصيل الحراري بين الماص والهواء الخارجي. قرص عسل النحل المثقب الذي ينقل الإشعاع الشمسي، يكون معتماً بالنسبة لطيف الأشعة تحت الحمراء

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

وله توصيل حراري منخفض يمكن أن يكون مثالياً للمجمع الشمسي. التفريغ للفراغ بين الماص والغطاء الخارجي تم اقتراحه لخفض الحمل الحراري الداخلي والتوصيل الحراري، ولكن تكاليف التجهيزات المضافة والصيانة للتفريغ تكون كبيرة.

3- الفقد بالإشعاع : (Radiation Losses)

الفقد بالإشعاع من الماص (Absorber) يمكن خفضه باستخدام طلاء ماص طيفي انتقائي. مثل هذه الطلاءات لها امتصاص عالي حوالي 0.9 في الطيف الشمسي وانبعاث منخفض، عادة في حدود 0.1، في طيف الأشعة تحت الحمراء الذي فيه يشع الماص نحو البيئة المحيطة. الطلاءات الانتقائية لصاص، لذلك، تقلل من الفقد الحراري وتزيد من كفاءة الجامع (Collector). الطلاءات السوداء الانتقائية متاحة تجارياً من مصادر قليلة، ولكن سعرها، وثباتها وخواص اتجاه الإشعاع يتم مراجعتها قبل الاستخدام على مستوى كبير.

في حالات الاستقرار، فإن الحرارة المفيدة والتي يستقبلها المجمع تساوي الطاقة الممتصة على سطح المعدن ناقص الفقد الحراري من السطح مباشرة وبطريقة غير مباشرة نحو المجال المحيط. هذا المبدأ يمكن توضيحه في العلاقة

$$(1) Q_u = A_c [H_R (T, \alpha) - U_L (T_p - t_a)]$$

حيث:

Q = الطاقة المفيدة التي استقبلها المجمع، بالوات W ، كيلو كالوري/الساعة

A_c = مساحة المجمع بالمتر المربع.

H_R = الطاقة الشمسية التي استقبلت على السطح العلوي لمنشأ المجمع الشمس المائل، وات/مربع (كيلو كالوري/الساعة. متر مربع).

H = معدل الإشعاع الساقط أو الإشعاع المشتت على وحدة المساحة لأي توجيه.

R = معامل لتحويل الإشعاع المشتت إلى ذلك على المجمع المستوي.

[الشعاع أو الإشعاع المشتت يتم اعتباره كل على حدة $(\alpha-t)$ للشعاع (Beam radiation) يتم تحديدها من زاوية السقوط الحقيقية، $(\alpha-t)$ للشعاع المشتت يمكن اعتبارها مثل تلك للشعاع عند زاوية سقوط 60° م. الرمز (H_B) يستخدم لتمثيل مجموع $[(H_d R_d) (H_b R_b)]$.

t = هو جزء الإشعاع الشمسي القادم الذي يصل السطح الماص، الانتقالية (بدون أبعاد)

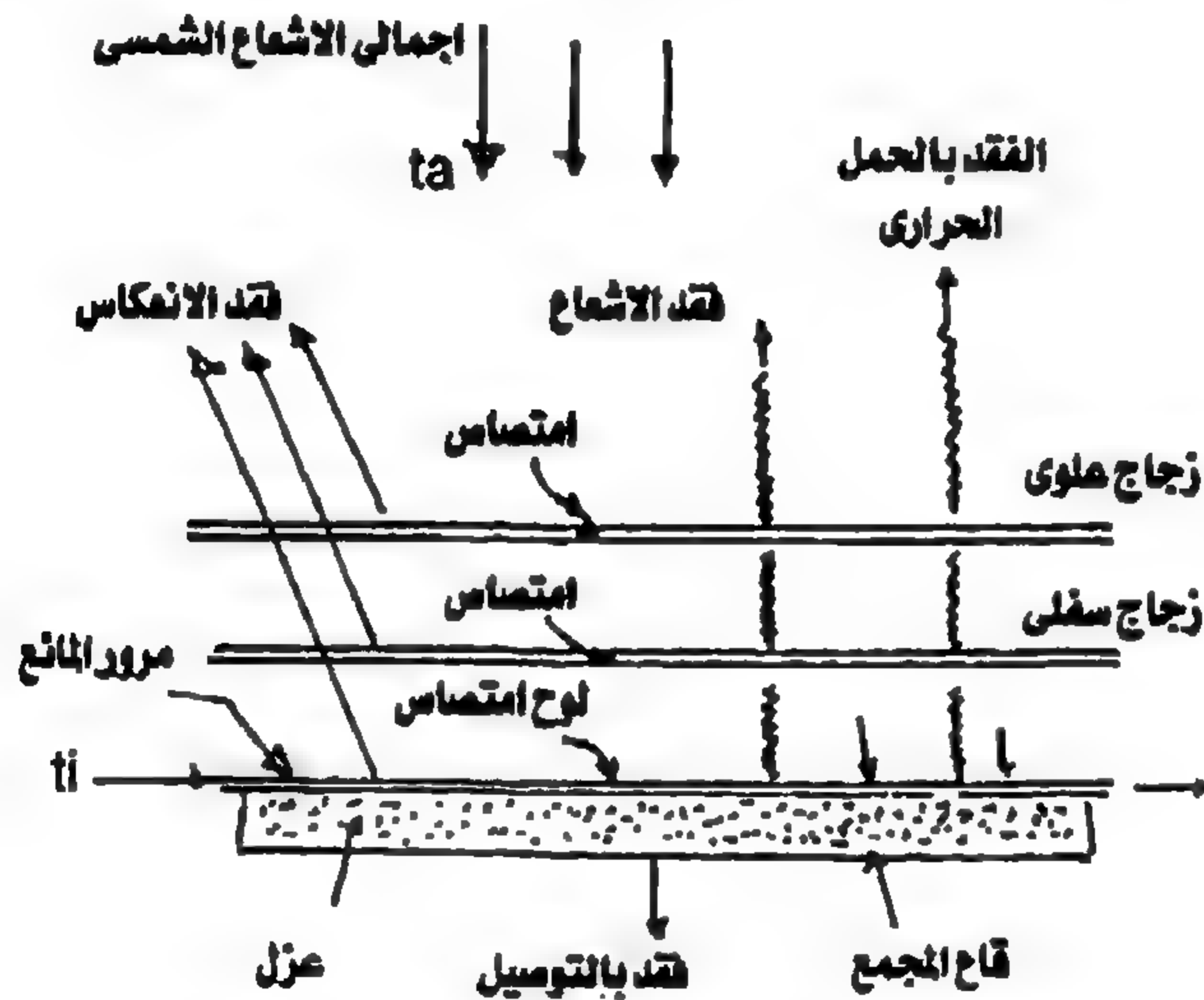
الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير
 $T =$ جزء من الطاقة الشمسية التي تصل إلى السطح وتمتص، الامتصاصية (بدون أبعاد)

$(\alpha-t)$ = هي ناتج الانتقال - الامتصاص المؤثر لنظام التغطية لكل من الإشعاع والإشعاع المشتت (Beam and diffuse radiation).

U_L = معامل الفقد الكلي للحرارة. معدل انتقال الحرارة إلى المجال المحيط لكل متر مربع من سطح المجمع المعرض لكل درجة حرارة مئوية واحدة للفرق بين متوسط درجة حرارة سطح المجمع ودرجة حرارة الهواء المحيط، W/m^2 م°/ (كيلو كالورى/الساعة متر مربع م°).

t_p = متوسط درجة حرارة السطح العلوى للوح الماص م°.

مخطط توضيحي للمصطلحات فى تلك العلاقات موضح فى الشكل 7/5.



شكل (7/5) عمليات الانتقال الحرارى فى مجمع اللوح المستوى

الطاقة الممتصة $A_c [H_T (T, \alpha) e]$

الفقد الحرارى المؤثر $A_c U_L (T_p, t_a)$

يهدف ارتفاع كفاءة المجمع الشمسي من ناحية الاستخدام الاقتصادي، فإنه يتم اختيار عوامل التصميم والتشغيل التي تزيد من قيمة (HR) و (t, α) فى المعادلة رقم (1) والتي تقلل من قيمة $U_L (T_p - t_a)$. زيادة امتصاص الطاقة فى سطح المعدن وقلّة الفقد الحرارى من السطح، تعنى زيادة الطاقة المفيدة فى حالة استخدام لوح ماص غير مزجج فإن معامل الفقد الحرارى إلى الجو (U_L)، من 30 إلى 70 وات/متر مربع م° (25 - 50 كيلو كالورى/الساعة × متر مربع م°) يكون كبيراً كذلك بحيث أن درجة حرارة

الماص من 15 - 30°م أعلا من درجة الحرارة العادية هي أقصى ما يمكن الحصول عليه تحت الإشعاع الشمسي الكامل لـ 1000 وات/المتر المربع (860 كيلو كالورى/الساعة × متر مربع). فى هذه الحالات، لا يتم الحصول على حرارة مفيدة من المجمع ذلك لأن الفقد الحرارى يكون كبيراً مثل ملاحظة الحرارة الشمسية. عند تدوير سائل خلال المجمع، فإن الخرج من الحرارة المفيدة يتطلب استقبال حرارة مطردة منخفضة. فى حالة عدم وجود استخدام لدرجة الحرارة المنخفضة، كما فى حالة تسخين حمامات السباحة، فإن الفقد الحرارى يجب خفضه فى هذه الحالة.

لخفض الفقد فى معدل الإشعاع. والحمل الحرارى، كما سبق توضيحه، فإنه يتم وضع واحد أو أكثر من الأسطح الشفافة مثل الزجاج فوق سطح ماص (Absorber surface) طبقة واحدة من الزجاج يمكن أن تنقل ما يزيد عن 92% من الإشعاع الشمسي الساقط عليها، وفى نفس الوقت إحداث الخفض الكبير فى معامل الفقد الحرارى (U_L). هذا الخفض يعود إلى إعاقة الفقد بالحمل الحرارى من خلال تدخل واعتراض طبقة هواء ساكنة نسبياً بين اللوح الماص والزجاج، وامتصاص الإشعاع الحرارى طويل الموجة المنبعث بواسطة سطح الماص المعدنى الساخن. معامل الفقد الحرارى المجمع يمكن خفضه إلى 5-10 وات/المتر المربع^{°م} (4.3 إلى 86 كيلو كالورى/الساعة × متر مربع^{°م}) باستخدام بغطاء زجاجى واحد. فوائد مشابهة يمكن تحقيقها باستخدام مواد بلاستيك معينة شفافة.

كذلك يمكن خفض الإضافى للفقد الحرارى باستخدام غطاء ثانى شفاف مع وجود فاصل فراغ للهواء بين السطحين. عندئذ يكون موجود اثنين من حواجز الحمل الحرارى، وكذلك سطحين لإعاقة معامل الفقد الإشعاعى فى المجال 4 وات/متر مربع^{°م} (3.85 كيلو كالورى/الساعة × المتر المربع × ^{°م}) يمكن عندئذ تحقيقه.

يمكن خفض فى الفقد الإشعاعى بتقنيات أخرى، مثل خفض خواص الانبعاث الإشعاعى للوح الماص وذلك بانعكاسها إلى أسفل من غطاء الزجاج السفلى باستخدام طلاء (أو غطاء) عاكس للأشعة تحت الحمراء على الزجاج. طبقة رقيقة جداً وذات شفافية للضوء من أكسيد القصدير (Tin Oxide) أو من (Indium Oxide) المرسبه على الزجاج تعكس الإشعاع الحرارى ثانياً نحو اللوح الماص. هذا الغطاء أو الطلاء يمتص بعض من الإشعاع الشمسي، ولكن، الفقد فى خفض الحرارى يتم معادلته بخفض مدخلات الطاقة الشمسية إلى اللوح الماص.

المناقشة السابقة كانت تتعلق بطريق خفض معامل الفقد الحرارى (U_L). بعمل ذلك، فإنه يتم خفض إجمالى الفقد الحرارى إلى أدناه مع زيادة كفاءة المجمع. أنه من الواضح

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

من المعادلة رقم (1) أن الفقد ينخفض كذلك مع خفض الفرق بين متوسط درجات حرارة اللوح ودرجة حرارة الهواء. درجة حرارة الهواء العادية هي عامل يصعب التحكم فيه، ولكن حقيقة أنها تتغير مع الوقت وطبقاً للمكان الطبوغرافى يعنى أن كفاءة المجمع تعتمد كذلك على تلك العوامل. كذلك فإنه من الواضح، أن المجمع يكون ذو كفاءة أكثر على درجات حرارة منخفضة للوح مقارنة بدرجات الحرارة العالية. ولكن درجة حرارة اللوح تعتمد على درجة حرارة السائل الذى يتم تدويره بالالتصاق مع اللوح، ومعدل تدوير السائل ونوع السائل ودرجة حرارة السائل تتوقف على ظروف أخرى فى نظام الاستخدام الحرارى، بينما العوامل الأخرى فى الشكل (7/5) تتوقف على تصميم المجمع، وظروف التشغيل، مدخلات الطاقة الشمسية، درجة حرارة الجو.

معادلة ميزان الطاقة: (Energy balance equation)

ميزان الطاقة على كل الجامع يمكن كتابته كالتالى:

$$(2) \quad A_c [(HR (\tau\alpha) b + (HR (T\alpha)d)] = Q_u + Q_L + Q_s$$

حيث :

Q_u = معدل انتقال الحرارة المفيدة إلى السائل العامل فى المبادل الحرارى.

Q_L = معدل الفقد فى الطاقة من الجامع إلى المجال المحيط بالإشعاع، بالحمل الحرارى، والتوصيل خلال الحوامل (Supports) للوح الماص وهكذا. الفقد بسبب الانعكاس من الأغشية يكون مشمولاً فى المصطلح $(\tau\alpha)$ و

Q_s = معدل تخزين الطاقة فى المجمع.

ميزان الطاقة على الجامع ذو السطح المستوى الذى يعمل عند حالة استقرار يمكن كتابته كالتالى:

$$H_T A_c (T\alpha)S = Q_u + Q_L$$

حيث:

H_T = إجمالى الإشعاع الشمس على الجامع

A_c = مساحة فتحة الجامع

Q_u = معدل الحرارة المفيدة التى استقبلها الجامع

Q_L = معدل الفقد الحرارى من الجامع

$(\tau\alpha)$ = مجموع الانتقال الامتصاص المؤثر

عموماً كفاءة جامعات اللوح المستوى يمكن تحسينها بطريقتين:

1- انتقال الطاقة خلال الجامع إلى السائل العامل يمكن زيادتها، من خلال تحسين:

أ- الانتقال (فى مجال طيفى تقريباً من 0.4 إلى 1.9 ميكرومتر) $(0.4-1.9\mu m)$ لألواح الأغشية الشفافة (من الزجاج أو من البلاستيك).

ب- امتصاص اللوح الماص للإشعاع الشمسي الساقط (الامتصاص تقريباً 1.0 يتم الحصول عليه بواسطة الطلاء الأسود المناسب) و/أو.

ج- معاملات الانتقال الحرارى من السطح الماص إلى السائل. هذه تتوقف على مقاومة التوصيل الحرارى خلال لوح الماص (التوصيل الحرارى)، سمك اللوح وعلى طبيعة الحمل الحرارى فى قنوات التدفق، مثل المناخ وسواء كان التدفق مضطرب أو سلس، وخشونة السطح.

2- خفض الفقد الحرارى من الجامع إلى المجال المحيط بخفض الفقد بالتوصيل، الحمل الحرارى، الانعكاس.

أ- الفقد بالتوصيل، ذلك الذى يحدث خلال قاع وأجناب الجامع يمكن خفضه باستخدام طبقة سميكة من العزل الحرارى. المشكلة الرئيسية فى الأمام، حيث يتم توصيل الحرارة من لوح الماص خلال طبقة الهواء (S) بين اللوح والأغشية الشفافة ثم إلى الخارج نحو الهواء الجوى. زيادة سمك فواصل الهواء يقلل الفقد إلى حد معين، حيث ما زاد عن ذلك يسمح بالحمل الحرارى الطبيعى بشكل كبير - الحمل الحرارى الطبيعى ينقل الحرارة عند معدلات أعلا مقارنة بالحمل الحرارى، هذا يؤدى إلى زيادة الفقد الحرارى. على العكس، يمكن استخدام العديد من الأجناب (Panes) لخلق عدد من فواصل الهواء الضيقة. ولكن هذا يقلل انتقال الطاقة الشمسية إلى الماص. إن جامع الجانب لوحد (Single pane collector) هو الأكثر كفاءة عندما تكون درجة حرارة الماص ليست أعلا كثيراً عن تلك للوح الغطاء الخارجى ولكن يصبح سريعاً أقل كفاءة لأن فرق درجة الحرارة هذا ينخفض. لذلك، فإن مجمعات درجة الحرارة العالية تتطلب اثنين من الأغشية الشفافة.

ب- الفقد بالحمل الحرارى ينفصل إلى الفقد الداخلى بالحمل الحرارى من اللوح الماص إلى جانب الغطاء الخارجى، والفقد الخارجى من جانب الغطاء الخارجى إلى الهواء الجوى. فى عدم وجود الرياح، يكون الفقد الخارجى بالحمل الحرارى بسبب الحمل الحرارى الطبيعى. حتى أن الرياح الضعيفة، تسيطر على الحمل الحرارى عند حدوثها. رغم أنه يتم استخدام وسائل لخفض فقد الحمل الحرارى الخارجى، فإنه يكون من المفيد جداً خفض الفقد الداخلى، وبذا خفض درجة حرارة لوح الغطاء الخارجى. بينما المعلومة المتاحة عن الحمل الحرارى الطبيعى فى ثغرات الهواء العمودية ليست

حاسمة، فإن الحمل الحرارى يكون صغيراً جداً ومقارن بتأثيره للتوصيل لأرقام رينولد الصغيرة، ويصبح أكبر كثيراً للقيم الأكبر لتلك الأرقام. كذلك فإن طبيعة الحمل الحرارى تتوقف على حالات التخوم المحددة والاعتبارات الهندسية والسياس (Enclosure). بجانب صيانة ثغرات الهواء الضيقة لخفض الحمل الحرارى، يمكن وضع منشأ مسامى بين الماص ولوح الغطاء. المشاكل الرئيسية المصاحبة لاستخدام المنشآت المسامية هي (1) أنها تعكس جزء من الإشعاع الشمسى، وبذا منعها من الوصول إلى اللوح الماص (2) زيادة التوصيل الحرارى للفضاء بين الماص ولوح الغطاء، و (3) إضافة إلى تكاليف الجامع. تفريغ الفضاء بين الماص ولوح الغطاء يبعد عملياً الفقد بالحمل الحرارى وهذا طبيعى يمكن عمله فقط بواسطة مجمعات أنبوبية.

3- الفقد الإشعاعى: (Radiative losses)

الفقد الإشعاعى من الماص الطافى (Absorber) إلى المجال المحيط يمكن خفضه بطبقة تغطية ذات الانتقاء الطيفى على لوح الماص الطافى. طبقات التغطية أو الطلاء هذه لها قوة امتصاص عالية فى الطيف الشمسى، ولكن لها انبعاثية منخفضة كثيرات عادة فى حدود واحد على عشرة فى طيف تحت الحمراء، الذى فيه معظم ألواح الماص الطافى تشع. الماص الطافى الانتقائى (The Selective absorbers) عندئذ يقلل الفقد الحرارى ويزيد من كفاءة الجامع (Collector).

الإشعاع الحرارى المنبعث بواسطة اللوح الماص للطاقة يمكن كذلك أن يقل بانعكاسه إلى أسفل من الغطاء الزجاجى السفلى باستخدام طبقة تغطية (أو طلاء) عاكس للأشعة تحت الحمراء على الزجاج. طبقة رقيقة جداً شفافة من أكسيد القصدير أو أكسيد الإنديام (Indium) التى تم ترسيبها فوق الزجاج سوف تقلل الفقد بالإشعاع وذلك بعكسه ثانياً نحو اللوح الماص للطاقة كما سبق ذكره.

هذا الطلاء (أو طبقة التغطية) يمتص جزء صغير من الإشعاع الشمسى، ولكن، لذلك فإن الخفض فى الفقد الحرارى تتم معادلته إلى حد كبير بخفض المدخلات من الطاقة الشمسية للوح الماص للطاقة.

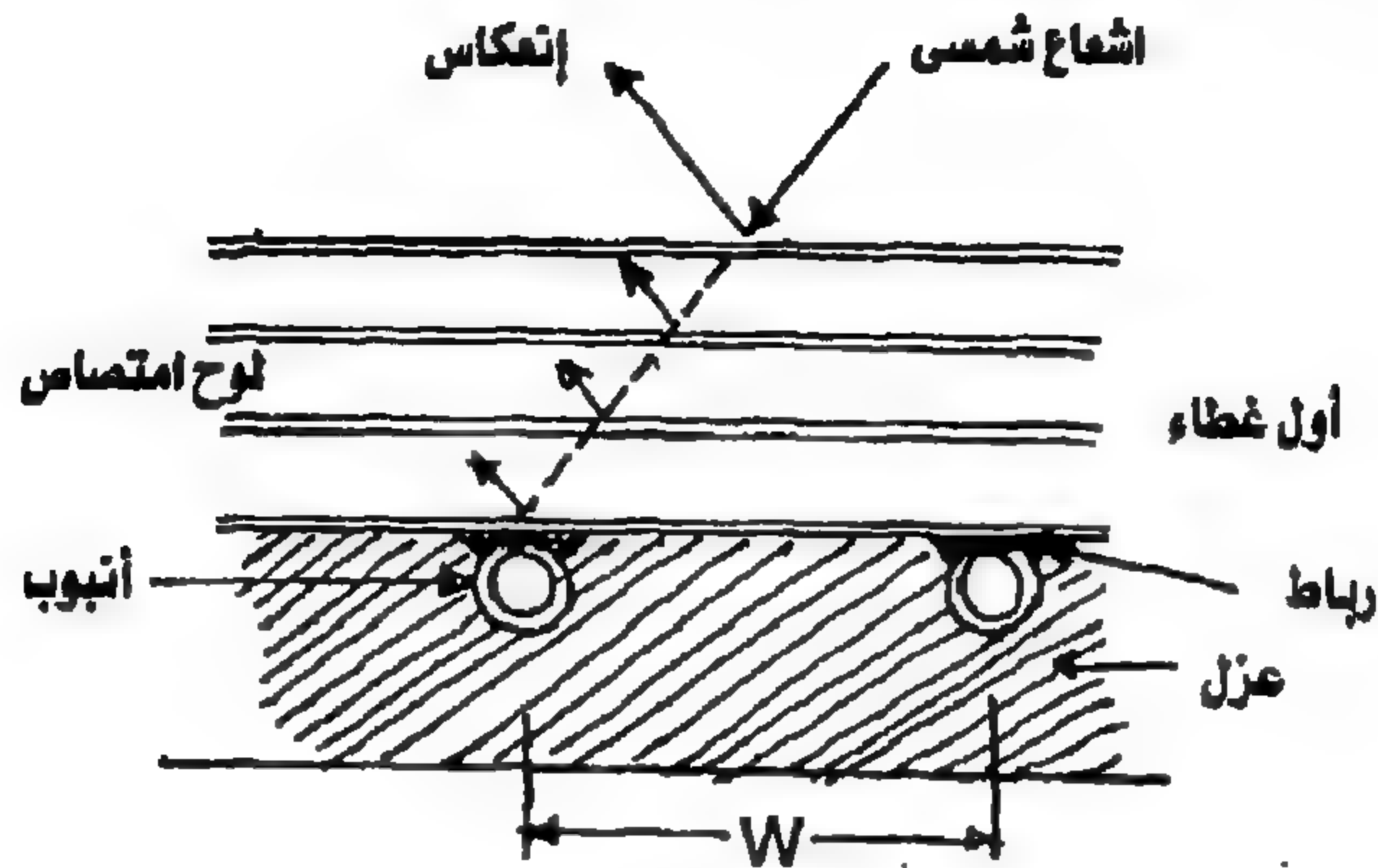
الخواص العامة للمجمعات الشمسية ذات اللوح المستوى:

General character is tics of flat plate solar collectors:

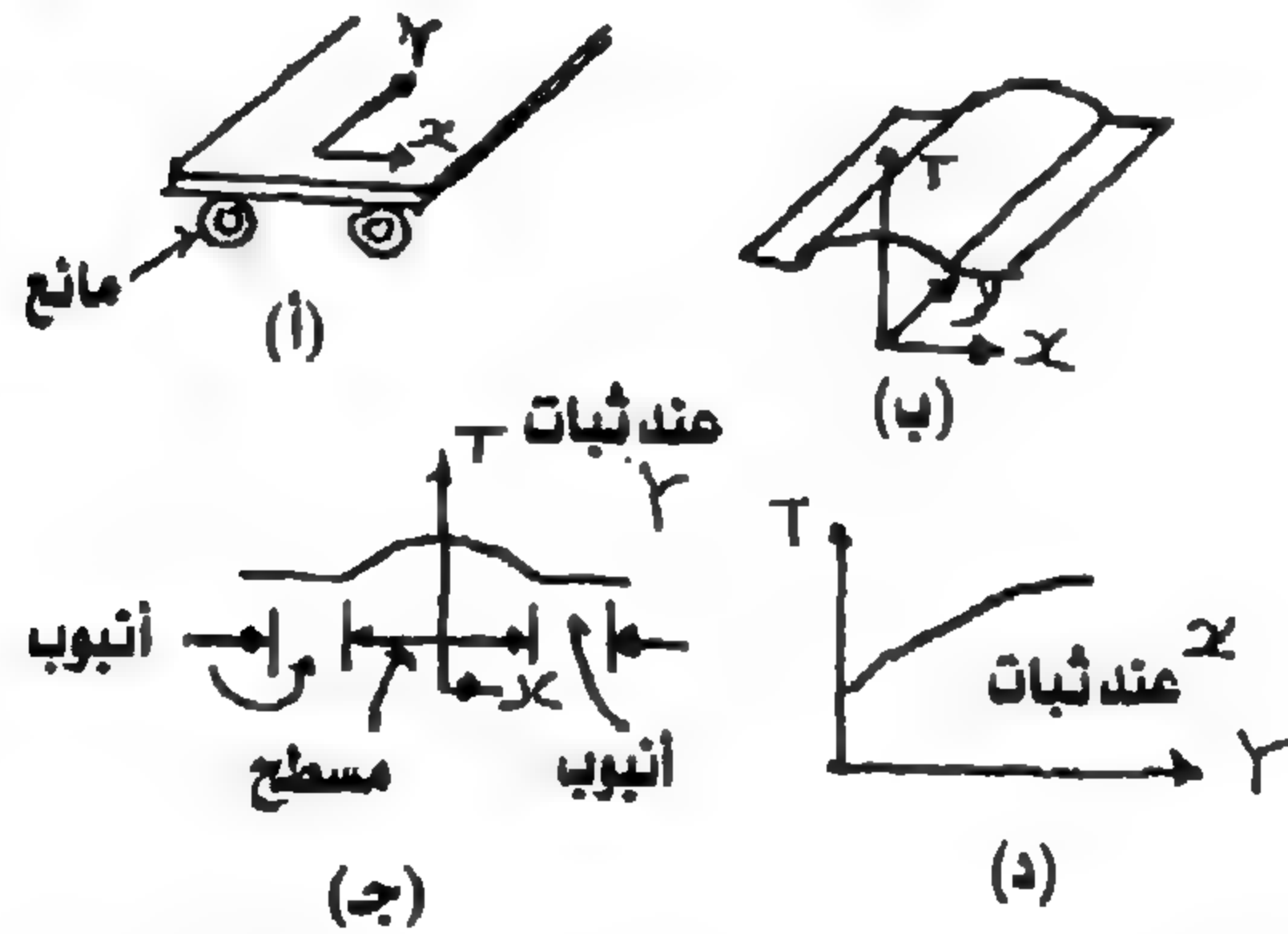
النماذج الأكثر استخداماً من مجمعات الطاقة ذات اللوح المستوى هي تلك التى تم تطويرها بواسطة (Hottel and woerts) فى عام 1942، و (Bliss) فى عام 1959. الفرضية الرئيسية التى تم عملها فى كل من تلك الأعمال هي أن تأثيرات السعة الحرارية لمكونات مجمع الطاقة تكون مهمة.

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

اختبار الشكل المبسط موضح في الشكل (8/5) الذي يعطي تفهما للتدرجات في درجة الحرارة. الشكل (9/5) يبين المنطقة بين الأنبوبين. بعض من الطاقة الشمسية الممتصة بواسطة اللوح يجب أن يتم توصيلها على طول اللوح إلى منطقة الأنابيب. لذلك فإن درجة الحرارة قريباً من الأنابيب سوف تكون أقل من درجة الحرارة في المسافة المتوسطة بين الأنبوبين. درجة الحرارة فوق الأنابيب سوف تكون قريباً من التجانس بسبب وجود الأنبوب ومعدن اللحام.



شكل (8/5) المجمع الشمس بالمسطح والأنبوب



شكل (9/5) توزيع درجة الحرارة للوح الماص

المائع الذي يتم تسخينه، يسبب تدرج في درجة الحرارة في اتجاه التدفق. الموقف موضح في الشكل (9/5) (b) في أي مكان (Y)، ويتوقع في أي منطقة من المجمع الطافي ذلك لأن مستوى درجة الحرارة العام يكون محكوماً بمستوى درجة الحرارة المحلية للمائع (Fluid) والتوزيع العام لدرجة الحرارة في الاتجاه (X)، موضح في الشكل (9/5) (c) عند أي مكان (X)، توزيع درجة الحرارة في الاتجاه (Y) سوف يكون مثل الموضح في الشكل (d).

الفرضيات التي في التحليل هي :

- 1- الأداء في حالة ثبات.
- 2- الإنشاء من نوع اللوح والأنبوب.
- 3- الأنابيب الصاعدة أو مجمعات التوزيع (Headers) تغطي مساحة صغيرة من المجمع ويمكن إهمالها.
- 4- مجمعات التوزيع توفر تدفق متجانس للأنابيب.
- 5- التدرجات في درجة الحرارة في ألواح الغطاء الزجاجي تكون مهمة.
- 6- يوجد واحد من التدفق البعدي للحرارة خلال الأغطية.
- 7- يوجد واحد من التدفق البعدي للحرارة خلال العزل الخلفي.
- 8- السماء يمكن اعتبارها جسم أسود بالنسبة للأشعة ذات طول موجة طويل (Long wave length) عند المكافئ لدرجة حرارة السماء.
- 9- يمكن إهمال التدرجات في درجة الحرارة حول الأنابيب.
- 10- التدرج في درجة الحرارة في اتجاه التدفق وبين الأنابيب يمكن معاملته مستقلاً.
- 11- الخواص الحرارية والإشعاعية لمادة المجمع الكافي تكون مستقلة ولا تعتمد على درجة الحرارة.
- 12- الفقد الحراري للأطراف يكون مهملاً مقارنةً بالفقد الحراري خلال لوح المجمع الطاقى.
- 13- الفقد خلال الأمام والخلف هو نفسه درجة الحرارة العادية.
- 14- إهمال الغبار والأوساخ على المجمع.
- 15- ظلال لوح الامتصاص للمجمع الطاقى تكون مهمة.
- 16- الأنابيب الصاعدة أو مجمعات التوزيع (Headers) تحتوى حجم كبير من المياه غير متناسب (Disproportionally).

تقييم العامل الكلى للفقد :

الفقد في الطاقة من لوح المجمع الطاقى يتكون من الإشعاع والحمل الحراري (Convection) نحو الغطاء والأطراف والتوصيل الحراري (Conduction) نحو العزل الخلفي (Back Insulation). عند بعض الأماكن النموذجية على اللوح (Plate)

حيث تكون درجة الحرارة (tp) (أى متوسط درجة حرارة اللوح)، وكمية الطاقة الشمسية S يتم امتصاصها بواسطة اللوح.

$$S = [HR (T\alpha)_{\text{beam}} + HR (t\alpha)_{\text{diffuse}}]$$

هذه الطاقة الممتصة يتم توزيعها إلى فقد (Losses) خلال القمة والقاع والأطراف وإلى اكتساب طاقة مفيدة.

الشبكة الحرارية (Thermal Network) لنظام 3 غطاء والشبكة الحرارية المكافئة لها موضع في الشكل (6/1) ، (2/8).

الفقد في الطاقة خلال قاع مجمع الطاقة موضح في المقاومتين R_1, R_2 تمثل (R_1) تمثل المقاومة لتدفق الحرارة خلال العزل، (R_2) تمثل مقاومة الحمل الحرارى والإشعاع الحرارى نحو المجال المحيط. حيث أن $R_1 \ll R_2$ فإنه يمكن إهمال قيمة (R_2) فى الحساب. لذلك، فإن معامل الفقد الخلفى (Ub) هو تقريباً.

$$Ub = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{X_i / K_i} = \frac{K_i}{X_i}$$

حيث:

$$K_i = \text{التوصيل الحرارى للعزل}$$

$$X_i = \text{السلك الحرارى للعزل}$$

إذا كان سمك العزل للطرف مساوياً للسمك العزل للقاع، فإن الفقد فى الطرف (أو الحافيه) يمكن تقديره بافتراض تدفق حرارة بالبعد الواحد للمسار الجانبى حول محيط نظام جامع الطاقة. (One dimensional sideways heat flow around the perimeter of the collector system)

معامل الفقد لقمة السطح هو نتيجة الحمل الحرارى والإشعاع، بين الألواح المتوازية. الانتقال للطاقة بين اللوح والغطاء الزجاجى الأول هو نفسه مثل ما بين أى لوحين آخرين من الزجاج متقاربين وهذا هو تقريباً يساوى الفقد فى الطاقة نحو المجال المحيط من قمة الزجاج. الفقد فى الطاقة خلال القمة لوحدة المساحة $(\phi_{\text{Loss,Top}})$ يكون عندئذ كالاتى:

$$\phi_{\text{Loss,Top}} = hp - CI(T_p - T_c - 1) + \frac{\sigma(T_p^4 - T_c^4 - I^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1}$$

حيث:

$H_p - C_I$ = معامل الانتقال الحراري بين لوحين متوازيين مائلين

T_P = متوسط درجة الحرارة المطلقة للوح درجة كلفن ($^{\circ}K$).

T_c = درجة حرارة الغطاء الزجاجي.

σ = ثابت (Stefan Boltzmann)

ζ_p = انبعاثية اللوح لأشعة تحت الحمراء.

ζ_g = انبعاثية الغطاء الزجاجي للأشعة تحت الحمراء.

كذلك يمكن كتابة ($Q_{Loss, Top}$) كالاتي

$$\Phi_{Loss, Top} = (h_p - C_I + H_{RI}) (T_p - T_c - 1)$$

حيث:

h_{RI} = معامل الانتقال الحراري بالإشعاع

طبقات التغطية أو الطلاء الانتقائية للماص الطاقى :

Selective absorber coatings:

الطريقة المؤثرة لخفض الفقد الحراري من لوح الماص الطاقى لإطار التسخين الشمسي هو باستخدام طلاءات انتقائية للماص الطاقى. الطلاء المثالي الانتقائي هو ذلك الماص الجيد للإشعاع الشمسي وحيث يكون عاكس جيد للإشعاع الحراري. مثل هذا الطلاء يجعل السطح ضعيف الانبعاث للإشعاع الحراري. لذلك، فإن الطلاء الانتقائي يزيد من درجة حرارة سطح الماص الطاقى. في عدم وجود فقد خلفى لسطح الامتصاص الطاقى، فإن حالة الاستقرار تعطى

الفيض (تدفق) الشمس الممتص = الفيض الحراري المنبعث

$$\text{Solar flux absorbed} = \text{thermal flux emitted}$$

الامتصاصية والانبعاثية للإشعاع عند طول موجة معين يكونا متساويين. ولكن، عند أطوال الموجات المختلفة يمكن أن يتغير إلى قرب الصفر إلى قريباً من الواحد الصحيح. نظراً لأن 96% من الإشعاع الشمسي يكون مركزاً في أطوال موجات ما بين أقل من 2.5 ميكرومتر ($2.5\mu m$) وأن 99% من الإشعاع من سطح المجمع الطاقى (الذى يعمل عند درجة حرارة أقل من $400^{\circ}K$) يكون في أطوال موجات ما يزيد عن 2.5 ميكرومتر فإنه يكون السطح الذى سوف يمتص كل الإشعاع الشمسي في حين يكون الانبعاث قليل جداً.

السطح الانتقائي هو السطح الذى له امتصاصية عالية للإشعاع قصير الموجة (أقل من 2.5 ميكرومتر) وانبعاثية منخفضة للإشعاع طويل الموجة (أعلى من 2.5

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

ميكرومتر). رغم اختبار عدد كبير لمعالجات تجريبية للسطح الانتقائي والطلاءات، إلا أن القليل هو الذي استمر وقاوم معملياً.

يوجد عدد كبير متاح من الطلاءات الغير انتقائية ولها استعمال على نطاق واسع كطلاءات اللوح المستوى للجامع الطاقى. وهذه هي أساساً طلاءات من مواد عضوية مثل الطلاءات السوداء المستوية (Flat Black Paints). من تلك الطلاءات له امتصاصية تزيد عن 0.95 وانبعاثية من 0.9 إلى 0.95 رغم أن الانبعاثية مرتفعة فإن استعمال تلك الطلاءات يمكن تبريره اقتصادياً فى بعض الاستخدامات حيث لا يكون المطلوب درجة حرارة مرتفعة للجامع الطاقى (Collector)، كما فى حالة نظم المياه الساخنة أو سخانات حمامات السباحة. الجدول الآتى يوضح خواص بعض الطلاءات الانتقائية.

جدول (1/5) خواص الطلاء الانتقائي

الطلاء (أو الغطاء)	النوع	الامتصاصية α	الانبعاثية
الكروم الأسود Black chrome	الطلاء بالترسيب الكهربى	0.96	0.1
النیکل الأسود	الطلاء بالترسيب الكهربى	0.9	0.1
النحاس الأسود	أكسيد النحاس	0.92 - 0.87	- 0.07 0.35
الأودة السوداء	أكسيد الألومنيوم	0.94	0.07
لفائف شمسية Solar foil	الكروم الأسود فوق النحاس	0.96	0.1
Enersorb●	طلاء اليورثين	0.97	0.9
Nextel	طلاء	0.98	0.89
● غير انتقائي			

معظم الأسطح تكون ذات خاصية امتصاص جيدة للإشعاع الشمسي تكون كذلك ذات إشعاع جيد للحرارة. كمثال، إذا كان سطح غير انتقائي له قدرة امتصاصية 0.95 للإشعاع، فإنه سوف يشع حرارة بمعدل حوالى 95% من ذلك للجسم الأسود المشع. الأسطح الانتقائية تكون قادرة على امتصاص الإشعاع الشمس بكفاءة فى حين وفى نفس الوقت تكون ذات خاصية إشعاع حرارى ضعيفة. معظم الأسطح الانتقائية تكون

مكونة من طبقة رقيقة من الأكسيد المعدني الأسود على أساس معدني لامع. الطلاء من الأكسيد الأسود يكون سميكاً بما يكفي للعمل كعازل شمسي جيد، بقوة امتصاص مرتفعة حتى 0.96، ولكن يكون أساساً شفاف للإشعاع الحراري ذو الموجة المنخفضة المنبعث بواسطة غرض عند درجة حرارة عدة مئات من الدرجات الحرارية. نظراً لأن المعادن اللامعة لها انبعاثية ضعيفة للإشعاع الحراري أي، أنها ضعيفة الإشعاع الحراري، ونظراً لأن طبقة التغطية الرقيقة من الأكسيد تكون شفافة لهذا الإشعاع، فإن المجموع يكون ضعيف الإشعاع الحراري. نتيجة لذلك، فإن الفقد الإشعاعي من السطح الانتقائي يكون أقل كثيراً عن ذلك من السطح الغير انتقائي التقليدي. معامل الفقد الحراري الكلي (U_L) يقل عند استخدام هذا النوع من الأسطح.

كذلك فإن السطح الانتقائي يجب أن يكون له الخواص التالية بالإضافة إلى خواص الطيف السابق ذكرها.

1- عدم تغير خواصه بالاستخدام. فقد لوحظ هبوط كبير في قيم (ϵ_p) , (α) في حالة بعض الطلاءات الانتقائية، حيث كان ذلك بسبب تأثير التعرض لرطوبة الجو.

2- يكون قادراً على تحمل مستويات درجة الحرارة المصاحبة لسطح لوح الماص الطاقى للمجمع الطاقى خلال فترة زمنية طويلة. كما يكون قادراً على مقاومة أي ارتفاع في درجة الحرارة لفترة زمنية قصيرة والذي يمكن أن يحدث وذلك عند عدم إزالة حرارة مفيدة.

3- يكون قادراً على تحمل التآكل الجوي والأكسدة.

4- يكون سعره مناسب.

تأثير الغبار، الظلال (Effect of Dust and Shading)

خلال تجارب طويلة على المجمعات الطاقية (Collectors)، فقد وجد أن أداء المجمع الطاقى يقل بحوالي 1% بسبب الزجاج الوسخ. فقد وجد أن الغبار يقلل الشفافية بمتوسط 8% للزجاج المائل بزاوية 45° .

لأغراض التصميم بدون اختبارات مكثفة، يقترح أن الإشعاع الممتص بواسطة اللوح يقل بمعامل $(1 - \alpha)$ حيث (d) تكون حوالي 0.02 بسبب الغبار.

ترسيب الغبار على نظام الغطاء يقلل شفافية نظام الغطاء وبذا كفاءة المجمع الطاقى. معدل الترسيب للغبار يتوقف على معايير تخطيطية وقياسية (Graphical and Metrological). معامل الغبار مرتبط بمعامل الإنفاذ (Transmissivity)، لذلك فإن معامل الغبار يتوقف على أماكن الأبحاث. مقارنة

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

وترابط نتائج البحث للأبحاث السابقة يمكن فقط إذا كان الإنفاذ لطبقة الغبار معلوماً وبدلالة (1) زاوية السقوط (2) معدل ترسيب الغبار (3) نسبة التشتت للإشعاع الكلي. لذلك، فإنه يلزم دراسة منهجية للخفض في الانتقالية بسبب الغبار بالإشارة إلى المتغيرات السابقة.

حيثما تكون زاوية السقوط ليست عمودية، وأن بعض الإنشاء سوف يقطع الإشعاع الشمسي. فإن بعض من هذا الإشعاع سوف ينعكس نحو اللوح الماص إذا كانت الحوائط الجانبية من مادة عالية الانعكاس. لقد أوصى (Hottel and Weertz) أن الإشعاع الممتص بواسطة اللوح يقل بحوالي 3% بالنسبة لتأثيرات الظل. لذلك، فإن الإشعاع الممتص بواسطة اللوح يقل بـ (S-1)، حيث $S = 0.03$ بسبب التظليل والحجب.

لذلك كمية S :

$$S = HR < \tau\alpha > (1-d) (1-S) = 0.951 HR < \tau\alpha >$$

اختيار مواد المجمعات الطاقية ذات اللوح المستوى :

Selection of Materials for flat - plate collectors:

لتصميم وإنشاء المجمعات الشمسية (Solar collectors) لأغراض التسخين والتبريد، فإنه يلزم معلومات تفصيلية عن خواص المواد وخصائص المكونات المختلفة لمعرفة الأداء والقدرة على التحمل للمجمع الطاقى. البيانات اللازمة يمكن تقسيمها إلى ثلاث أنواع:

1- حرارية طبيعية (Thermo physical).

2- طبيعية.

3- خواص بيئية.

الخواص الحرارية الطبيعية تشمل التوصيل الحرارى، الطاقة الحرارية، وخواص انتقال الإشعاع الحرارى. الخواص الطبيعية تشمل الكثافة، إجهاد الشد، ونقطة الانصهار، ومعامل اللدونة. الخواص البيئية تشمل مقاومة التحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية، اختراق الرطوبة، والقابلية للتحلل بسبب الملوثات فى الجو. كل من تلك البيانات يكون مطلوباً لتطوير المجمعات الطاقية التى يمكن الاعتماد عليها وذات قدرة على التحمل وعالية الكفاءة. القدرة على التحمل هى التى ينظر إليها غالباً بواسطة المبتدئين.

اللوحة الماصة للطاقة : (Absorber plate)

اللوحة الماصة للمجمع الطاقة يجب أن يكون ذو توصيل حراري، إجهاد شد وإجهاد ضغط مناسب ومقاومة جيدة للتآكل. النحاس هو عموماً المفضل بسبب القدرة العالية على التوصيل ومقاومة التآكل. كذلك فإن المجمعات الطاقة يمكن إنشائها من الألومنيوم، الصلب ومن مختلف المواد التيرمو بلاستيك. الألومنيوم والصلب يتطلب مائع انتقال حراري مثبت للتآكل. معظم مياه الشرب تحتوي الكلوريد وأيونات المعدن (مثل النحاس والحديد)، تلك سوف تسبب تآكل ثقبى (Pitting) في قنوات الألومنيوم. كذلك، في حالة استخدام الألومنيوم فإنه لا يمكن خلط سبائك النحاس ومجمعات الطاقة من الألومنيوم بدون أخذ الاحتياطات المناسبة لضمان أن أيونات النحاس من تآكل المواسير والكلوريدات من سبائك خفض درجة حرارة اللحام (Soldering fluxes) لا تحدث تلفاً للألومنيوم. التأثيرات الجلفنية يمكن أن تكون عاملاً هاماً في النظم متعددة المعادن، لذلك فإن العزل الكهربائي يجب توفيره باستمرار في النظم متعددة المعادن، لذلك فإنه يتم دائماً توفير عزل كهربائي بين المعادن الغير متماثلة. إذا كان معدل التدفق عالي جداً، فإن التآكل يمكن كذلك حدوثه بواسطة عملية الاحتكاك البسيطة الناتجة على المعدلات العالية للتدفق والاضطراب في مسارات المائع. حدوث انسداد جزئي في مسارات التدفق يمكن كذلك أن يسبب سرعات محلية عالية، ناتج عن هذا النوع من التحلل.

حتى قريباً كان يتم تصنيع ألواح الماصة للطاقة للمجمعات الشمسية ذات اللوح المستوي بأنابيب ملحومة مع معدن اللوح، والذي كان عندئذ يتم تسويده. بعض من سخانات الشمسية القديمة كان لها أنابيب مثبتة مع اللوح بدون لحام، حيث نتج عن ذلك ضعف الانتقال الحراري وضعف الأداء الحراري. الطريقة القياسية لتصنيع اللوح الماصة كانت يأخذ مسطح (لوحة) من النحاس أو الألومنيوم ولحام الأنابيب فيه، الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح يعمل على تسخين اللوح المعدني وبعض من الحرارة كان ينقل إلى الماء المتدفق خلال الأنابيب. أحد أهم التحديث في التقنيات الشمسية هو

تطوير ألواح المجمع الطاقة بالأنبوب الداخلي (Internal Tube)

(Collector Plates)، مثل الإطار من اللقائق المتماصة (Roll - bond panel)

والأنبوب في شريط لوح المجمع (Tube Instrip collector)

(plate). مجمعات الأنبوب الداخلي لها تفوق في خواص الانتقال الحراري وكذلك

يمكنها إنتاجها بكميات، بحيث أن عملية اللحام المرهقة للأنابيب مع اللوح المستوي تم التخلص منها. كذلك فإن الأنابيب لا يمكن أن تكون مفككة بالنسبة للوح. لهذه الأسباب

والظواهر الأخرى المرغوبة من ألواح الماص بالأنبوب الداخلي، فإن هذه الماصات الطافية قد تم استخدامها في كثير من التصميمات الحديثة للمجمعات الطافية.

لوح التغطية : (Cover plate)

لوح (أو ألواح) التغطية الذي خلاله يجب انتقال الطاقة الشمسية له أهمية كبيرة بالنسبة لأداء المجمع الطاقى. الغرض من ألواح التغطية هو:

- 1- نقل ما أمكن من الطاقة الشمسية إلى لوح الماص الطاقى.
 - 2- خفض الفقد الحرارى من لوح الماص نحو المجال المحيط.
 - 3- تغليف لوح الماص من التعرض المباشر للعوامل الجوية.
 - 4- استقبال ما يمكن من الطاقة الشمسية لأطول فترة ممكنة خلال اليوم.
- أهم العوامل بالنسبة لمواد لوح التغطية هي القوة، القدرة على التحمل، عدم التحلل والانتقالية للطاقة الشمسية.

الزجاج المطبوع (حيث الإحماء بعد التبريد السريع Tempered glass) هو مادة التغطية العادية للمجمعات الطاقية حيث ثبت قدرتها على التحمل وكذلك لأنها لا تتأثر بالإشعاع فوق البنفسجى من الشمس. لقد أظهرت الخبرة أنه بدون التطبيع للزجاج، فإن الدورة الحرارية من يوم إلى آخر للوح التغطية يمكن أن تسبب الكسر. الزجاج المطبوع المركب بطريقة صحيحة على مجمع اللوح المستوى يكون عالى المقاومة ضد الكسر سواء من الدورة الحرارية ومن الحوادث الطبيعية. كذلك فإن الزجاج مؤثر فى خفض الفقد الحرارى بالإشعاع نظراً لأنه معتم (غير نفاذ) للأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة التى تنبعث من لوح الماص الطاقى الساخن.

كذلك مواد البلاستيك يمكن استخدامها فى ألواح التغطية، مثل Acrylic poly carbonate plastics, plastic films to tedlar and mylar and commercial plastics such as lexan. أنها ذات فترة عمرية محدودة بسبب تأثير الضوء (الإشعاع فوق البنفسجى فى خفض الانتقالية للبلاستيك. كذلك، وهى عادة تكون ذات خاصية انتقالية جزئياً للإشعاع طويل الموجة ولذلك تكون أقل تأثيراً فى خفض الفقد الحرارى الإشعاعى من لوح الماص الطاقى. كذلك فإن بعض أنواع البلاستيك تكون غير قادرة على مقاومة أقصى اتزان لدرجات الحرارة التى تحدث فى المجمعات الطاقية ذات السطح المستوى، خاصة عندما يكون المجمع الطاقى جافاً. الميزة الرئيسية لمواد البلاستيك هى مقاومة الكسر، خفة الوزن، وفى بعض الحالات خفض التكلفة.

معظم المواد البلاستيك والزجاج ذات العلاقة لها معاملات انعكاس بحوالى 1.5. فى حالة عدم طلاءات خاصة أو معالجة سطحية فإن النتيجة هى 8% من الإشعاع العمودى الشمسى ينعكس من الزجاج بعيداً عن لوح الماص للطاقي من كل لوح تغطية، وجزء أكبر ينعكس على زوايا سقوط أعلا. هذا يعنى أن أقصى انتقالية هى 92% لمسطح زجاجى واحد تام النظافة وغير ماص. فى الأطر ذات التزجيج المتعدد، الخفض فى الانتقالية هو حوالى 8% زيادة لكل سطح (Sheet) إضافى. بالإضافة إلى أنه يوجد خفض فى الانتقالية بسبب امتصاص الإشعاع الشمسى خلال المادة نفسها. كمية الإشعاع الشمسى المنعكسة يمكن خفضها إلى حد كبير بالحفر أو النمش بالحامض (Etching) أو باستخدام طلاء للسطح مانع للانعكاس. الحفر أو النمش بالحامض ينتج طبقة سطحية ذات معامل انعكاس أقل من 1.5 والذي ينتج عنه خفض فى الانعكاس.

الانتقالية للزجاج تعتمد على محتواه من الحديد والسطح العادى للزجاج النافذة يبدو باللون الأخضر عند النظر إليه خلال الطرف ذلك بسبب أكسيد الحديد خلال الزجاج. الزجاج البلورى الأبيض المائى له أدنى محتوى من الحديد لذلك أعلا انتقالية للطاقة الشمسية. بلورة الزجاج الأبيض المائى Water white crystal متاحة فى حالة تلوين أو تطبيع (Annealed or tempered). الزجاج المطبيع (Tempered) له خمسة أضعاف المقاومة الصدمة والمقاومة الحرارية مقارنة بالزجاج الملون العادى. (التطبيع هو التسخين بعد التبريد المفاجئ).

عند اختيار الزجاج كألواح للتغطية، فإن القوة الميكانيكية يجب أن تكون مناسبة لمقاومة الكسر من أقصى رياح متوقعة ومن أحمال تراكم الثلوج، والارتطام المتوقع عادة. القوة الميكانيكية تتناسب مع مربع سمك الزجاج. ألواح التغطية للمجمعات الشمسية عادة يجب ألا يقل سمكها عن 0.33 سم.

الصدمة الحرارية للوح التغطية الزجاجى يجب كذلك أن تؤخذ فى الاعتبار. وهى بسبب العديد من العمليات المختلفة. أولاً بسبب التسخين والتبريد بين يوم وآخر من زيادة الكثافة الشمسية على المجمعات خلال الصباح وانخفاضها فى ساعات بعد الظهر. بالإضافة، إلى الغيوم التى تظهر فى الجو، عندئذ يمكن للانتقالية للزجاج أن تزيد أو تقل بحوالى 50°م أو أكثر فى خلال دقائق معدودة عند مرور السحب. المساحة المركزية للمجمع الطاقى تكون معرضة لتسخين أكبر مقارنة بأطراف الزجاج، ذلك لأن الأطراف تكون غير معرضة للضوء المباشر للشمس. هذا ينتج عنه إجهاد حرارى فى الزجاج عند الأطراف والذي يمكن أن يقدر عند 6000 كجرام/المتر المربع. فرق درجة الحرارة بين المركز الساخن والطرف البارد للوح الزجاج، ألواح الزجاج الأكثر

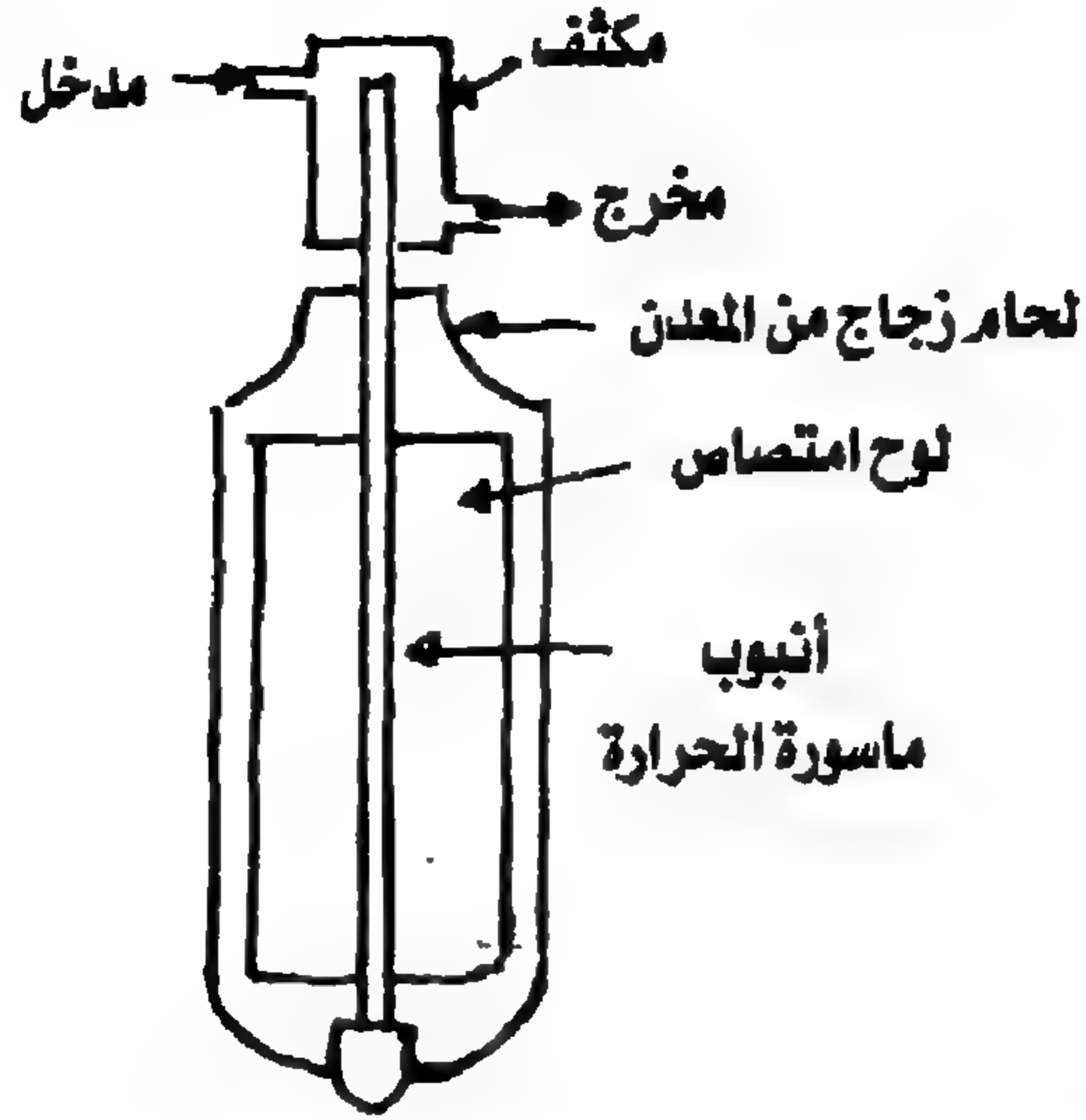
سمكا تكون أكثر عرضة للصدمة الحرارية مقارنة بالألواح الرقيقة. إجهاد إضافي آخر يمكن أن يحدث وذلك عند التظليل الجزئي للمجمع الطاقى الواحد. فى هذه الحالة يكون جزء من اللوح الزجاجى معرضاً لدرجات حرارة مرتفعة بينما المساحة التى عليها ظلال لا تكون معرضة. هذه العمليات يمكن أن تنتج بسهولة عن كسر الزجاج الغير ملدن (Non annealed) وتستوجب استخدام الزجاج المطبوع (Tempered) فى المجمعات الطاقية الشمسية. كذلك فإن الجساءة أو عدم قابلية الانثناء أو الانفعال (Rigidity) للوح التغطية تعتبر هامة. الجساءة تتناسب مع مكعب السمك للوح. مقاومة الكسر تحت الإجهاد الميكانيكى يكون ذو أهمية خاصة وذلك عند التزجيج المزدوج للمجمع الطاقى. قد يكون بعض الانثناء (Flexure) مطلوباً لاحتواء تمدد الهواء خلال الفجوة عند سخونة هذا النوع من المجمعات الطاقية.

المجمعات الطاقية ذات درجة الحرارة العالية - الغير مركزة - المجمعات الشمسية ذات الأنبوب المفرغ:

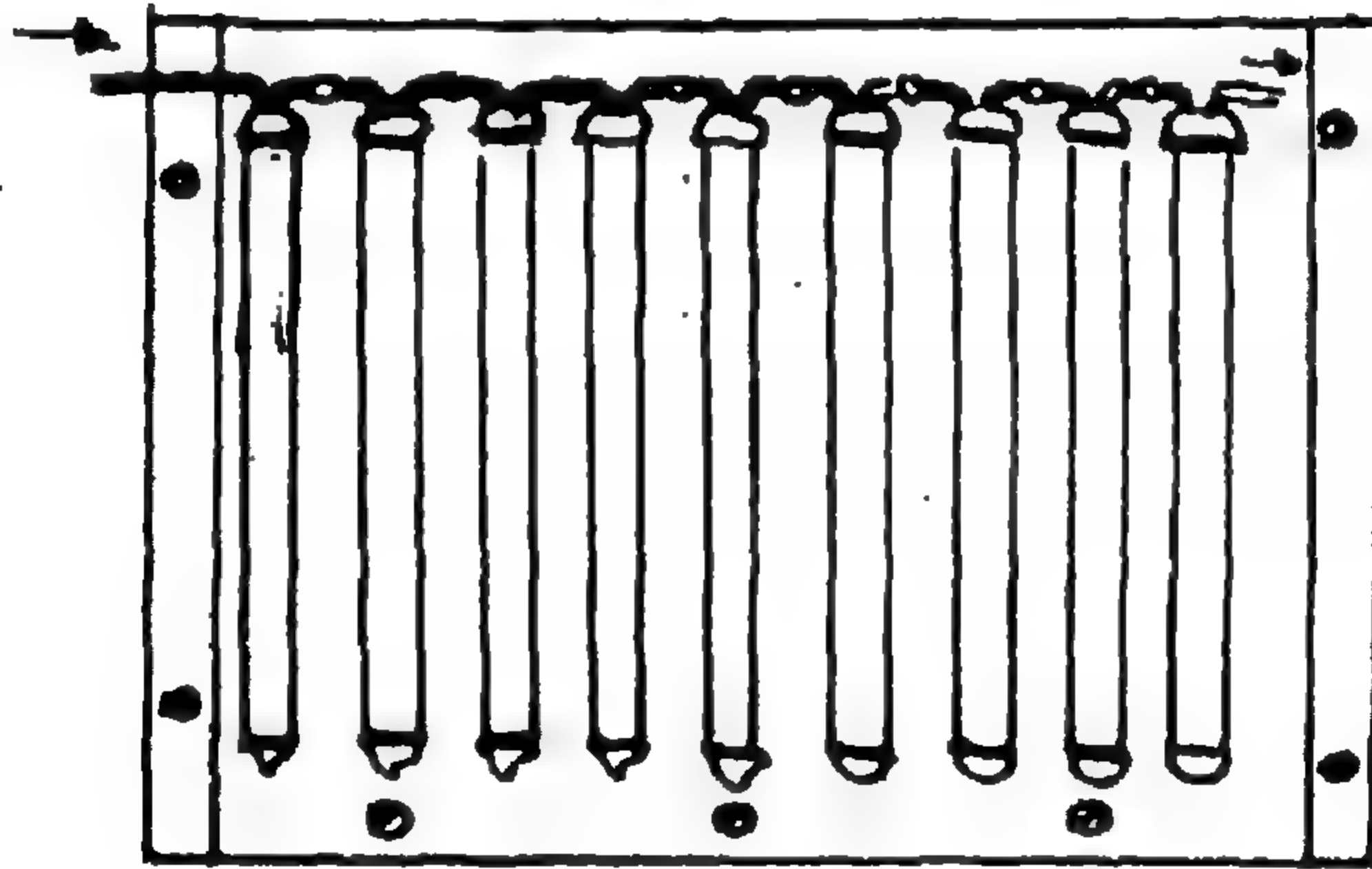
High temp -Non concentrating collectors- Evacuated tube solar collectors:

الفقد الحرارى من لوح الامتصاص من خلال التوصيل (Conduction) الحرارى والحمل الحرارى (Convection) يمكن عدم حدوثه من خلال إزالة كل الهواء تقريباً فى الفضاء بين لوح الامتصاص والغطاء الزجاجى. الفقد بالإشعاع يتم توقيفه باستخدام سطح ماص انتقائى. الإعاقة المؤثرة للتوصيل والحمل تحتاج إلى ضغط زئبق حوالى 10^{-4} ملليمتر، أو تفريغ شديد بدون توفير حاملات للزجاج فى مجمع السطح المستوى النموذجى، فإن السطح الزجاجى المستوى سوف يتحطم مع فرق الضغط هذا، كذلك فإنه سيكون من الصعوبة المحافظة على عزل التفريغ (Seal). لهذه الأسباب فإن المجمعات المفرغة يكون لها تصميم أنبوبى، الذى له قوة أعلا لمقاومة الضغط الخارجى. بعض التصميمات تتضمن ماصات الطاقة المستوية (Flat absorbers)، والبعض الآخر أسطح امتصاص أسطوانية ولكن الكل هو من نوع الغير محدث للتركيز (Non-Concentrating) ولذلك سيتم تناوله.

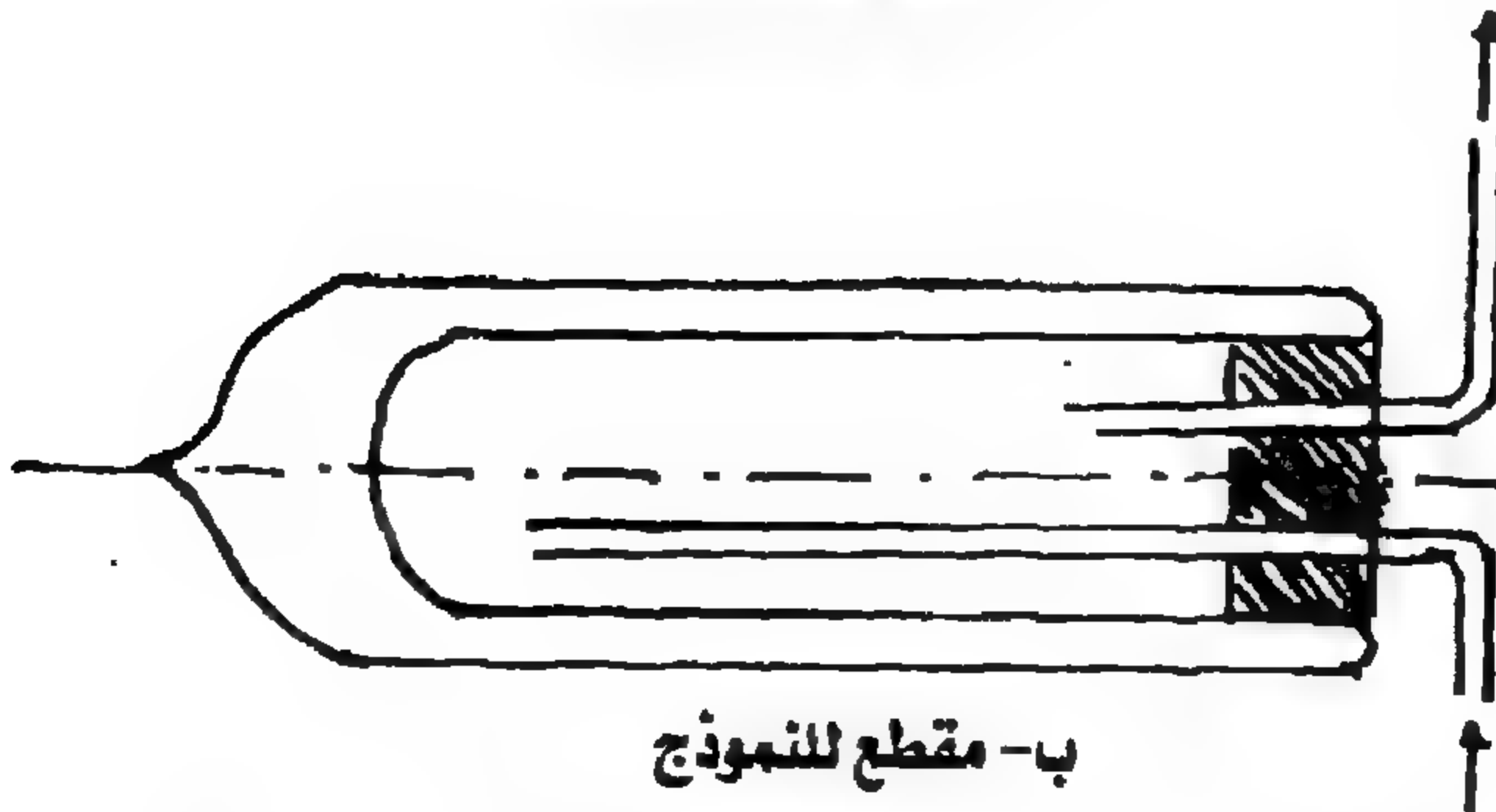
مخطط لمجمع أنبوب التفريغ مبيناً للأجزاء الرئيسية موضح فى الشكل (10/5)، الشكل (11/5, a, b) مسقط علوى ومقطع لمجمع الأنبوب المفرغ.



شكل (10/5) مخطط المجمع الأنبوب المفرغ مبيّنا الأجزاء المختلفة للمجمع



أ - منظر علوي للمجمع



شكل (11/5) المجمع الشمسي بالأنبوب المفرغ

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

الكروم الأسود والنيكل الأسود هما الأسطح الانتقائية الأكثر استخداماً للنظم الحرارية الضوئية ذات درجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة.

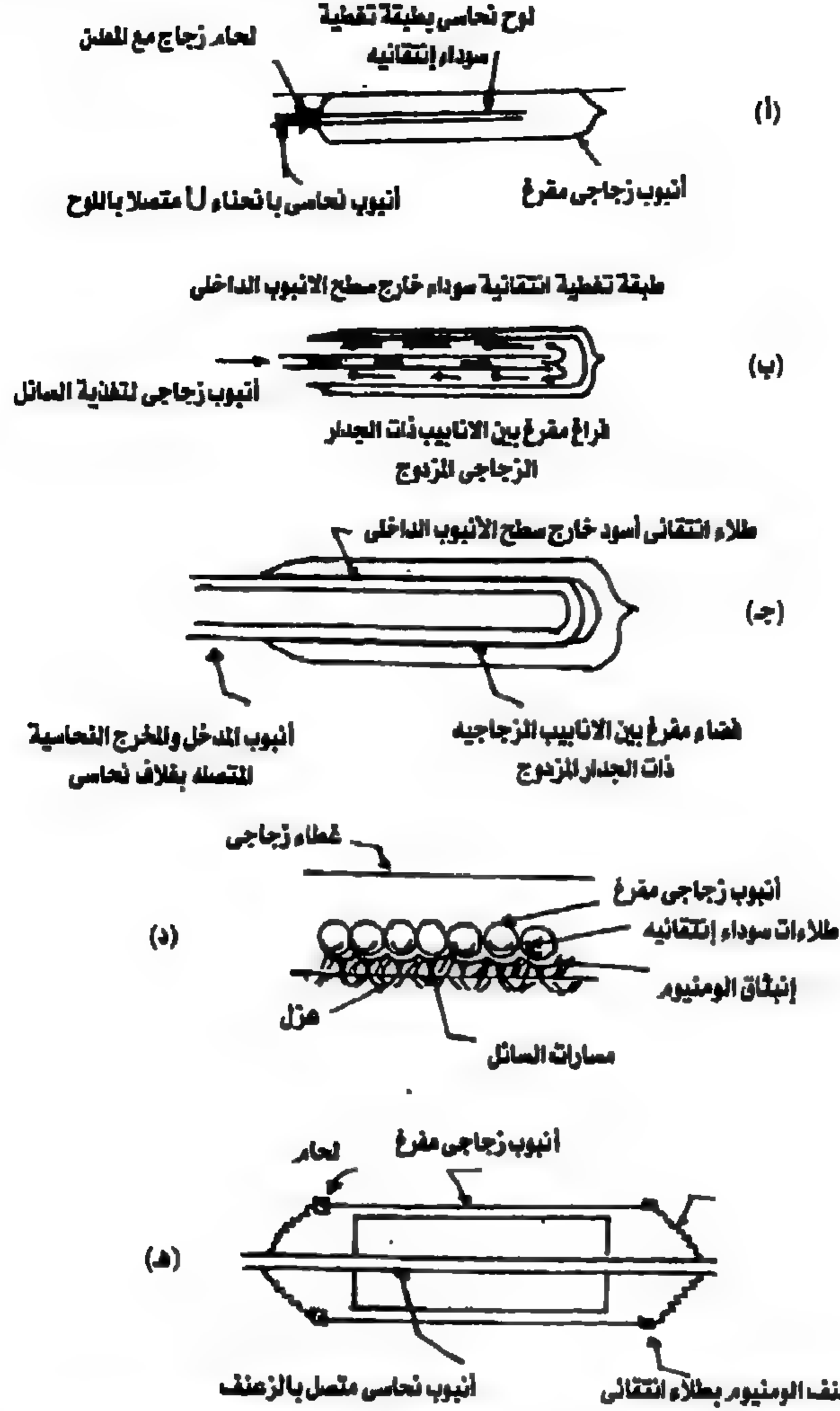
النيكل الأسود يفضل كطبقة تغطية (طلاء) للماص الطاقى بسبب انخفاض كثافات التيار اللازمة لترسيب طبقة التغطية. تغطية طبقة النيكل الأسود يتوقع أن تكون ثابتة في نظم التفريغ حتى عند درجة حرارة 250°C ، بينما تتلف عند حوالى 20°C في حالة المكشوف.

الأنابيب الزجاجية بقطر 25 ملمتر وطول 300 ملمتر يتم تلميعها ميكانيكياً ثم تغطيتها بطبقة النيكل باستخدام تقنية الترسيب الإلكتروليتي. كل من أنابيب النيكل المغطاة بالنيكل الأسود يتم تغليفها بواسطة أنبوب زجاجي خارجي (بقطر 36 ملمتر) والفضاء الحلقى بينهما يتم تفريغه إلى 10^{-3} قطر (Torr) هي وحدة ضغط جوى تعادل ضغط ملمتر واحد من الزئبق = 133.3 بسكال) ثم يتم اللحام. نموذج المجمع الطاقى يتم لذلك تصميمه وتصنيعه بعدد من 8 - 10 من مثل تلك الأنابيب المفرغة. رقيقة الألومنيوم المموجة (Corrugated Al sheet) يمكن استخدامها كذلك كعاكس (Reflector).

أنواع المجمعات الشمسية بالأنبوب المفرغ:

Types of evacuated tube solar collectors:

يوجد في الشكل (12/5) خمسة أنواع من المجمعات ذات الأنابيب المفرغ. في أحد الأنواع لمجمعات الأنبوب المفرغ الموضح في الشكل (12/5أ) يكون الماص مسطح معدنى رقيق أسود محمل عبر القطر لأنبوب زجاجي واحد مفرغ، مع وصلات الأنبوب لتدوير السائل ملحومة عند طرف واحد للأنبوب. السائل يتم تدويره خلال الأنبوب، الذى يكون فى التصاق حرارى قريب مع لوح الماص. سطح الامتصاص الأسود الانتقائي يوقف الإشعاع الحرارى، لذلك فإن كل أشكال الطاقة تكون صغيرة عند درجات حرارة لسخونة الفضاء العادى والعمل عند درجات حرارة تقترب من 200°C يكون ممكناً بأداء جيد.



شكل (12/5) أنواع المجمعات ذات الأنابيب المفرغ

نوع آخر، حيث يستخدم مبدأ قنينة التفريغ (Vacuum tube) التقليدية، حيث يوجد حائط زجاجي مزدوج مع وجود تفريغ في الفضاء بينهما. يتم تدوير السائل أو الهواء خلال التجويف الداخلي للأنبوبة الداخلية الشكل (ب)، حيث أن الطاقة الممتصة بواسطة الطلاء الأسود المرسب على السطح الخارجي للأنبوب الزجاجي الداخلي تنقل إلى المائع (Fluid). النهايات المفتوحة للأنابيب يتم غرسها في مجمع المواسير (Manifolds) المعزول الذي يوفر إطار المائع المناسب خلال مضاعفات الأنبوب. النوع الثالث هو كذلك ذو حائط مزدوج حيث الأنبوب الزجاجي الأسود من الداخل مع وجود تفريغ بين سطحي الزجاج شكل (ج). الأنبوب الزجاجي الداخلي يحتوي غلاف (Sleeve) رقيق أسطوانى من النحاس المتصل به أنبوب من النحاس في شكل

حرف (U) طويل وضيق. الوقود يتم تدويره خلال الأنبوب النحاسي بتدفق على التوالي مع الأنابيب المجاورة.

التصميم الألماني لمجمع الأنبوب المفرغ موضح في الشكل (d) والذي يشمل سطح من الألومنيوم المموج الناقل للحرارة، مع ممرات داخلية للمائع، التوصيل المحكم لمصفوفة متلاصقة من الأنابيب الزجاجية المفرغة المغطاة من الداخل بطبقة سوداء انتقائية. يستخدم غطاء زجاجي مستوى أساساً للحماية من العوامل الجوية.

التصميم الياباني الموضح في الشكل (e) يتضمن تدفق مستقيم للسائل في أنبوب نحاس صغير متصل بلوح معدن الامتصاص المستوى داخل أنبوب زجاجي مفرغ. اختلافات التمدد يتم تداولها باستخدام نفاخات معدنية (Metal Bellows) متصلة بنهايات الأنبوب الزجاجي وبالأنبوب المعدني.

المبدأ المستخدم هو واحد في كل الأنواع. السطح الانتقائي والتفريغ العالي ينتج عنه إعاقة لكل من الفقد بالإشعاع والفقد بالحمل الحراري. مع اللحام المستمر للزجاج مع المعدن أو اللحام الكلي - للزجاج، فإن الفقد في التفريغ يكون نادر الحدوث. حتى في حالة فقد التفريغ في قليل من الأنابيب الكثيرة، فإن أداء المجمع الكلي يقل قليلاً فقط. نظراً لأن الطلاء الأسود يكون داخل الفضاء المفرغ في كل التصميمات، فإنه يكون تام الحماية من رطوبة الأكسدة، أو أي شكل آخر من العدوانية.

رغم أن الأنابيب الزجاجية لا تتضمن مواد غالية الثمن وأن التصميمات الأخرى تكون بسيطة، فإن التشعب (Manifolding) يمكن أن يكون مكلفاً. توزع التدفق السائل على التوالي وعلى التوازي في قنوات يتطلب تجهيزات سباكة مكلفة. تجمد المياه داخل الأنابيب غير محتمل بسبب العزل الممتاز الذي يحققه التفريغ، ولكن خطورة التجمد في المشعب تجعل استخدام الموانع التي لا تتجمد في الأجواء الحادة من الأمور التي ينصح بها.

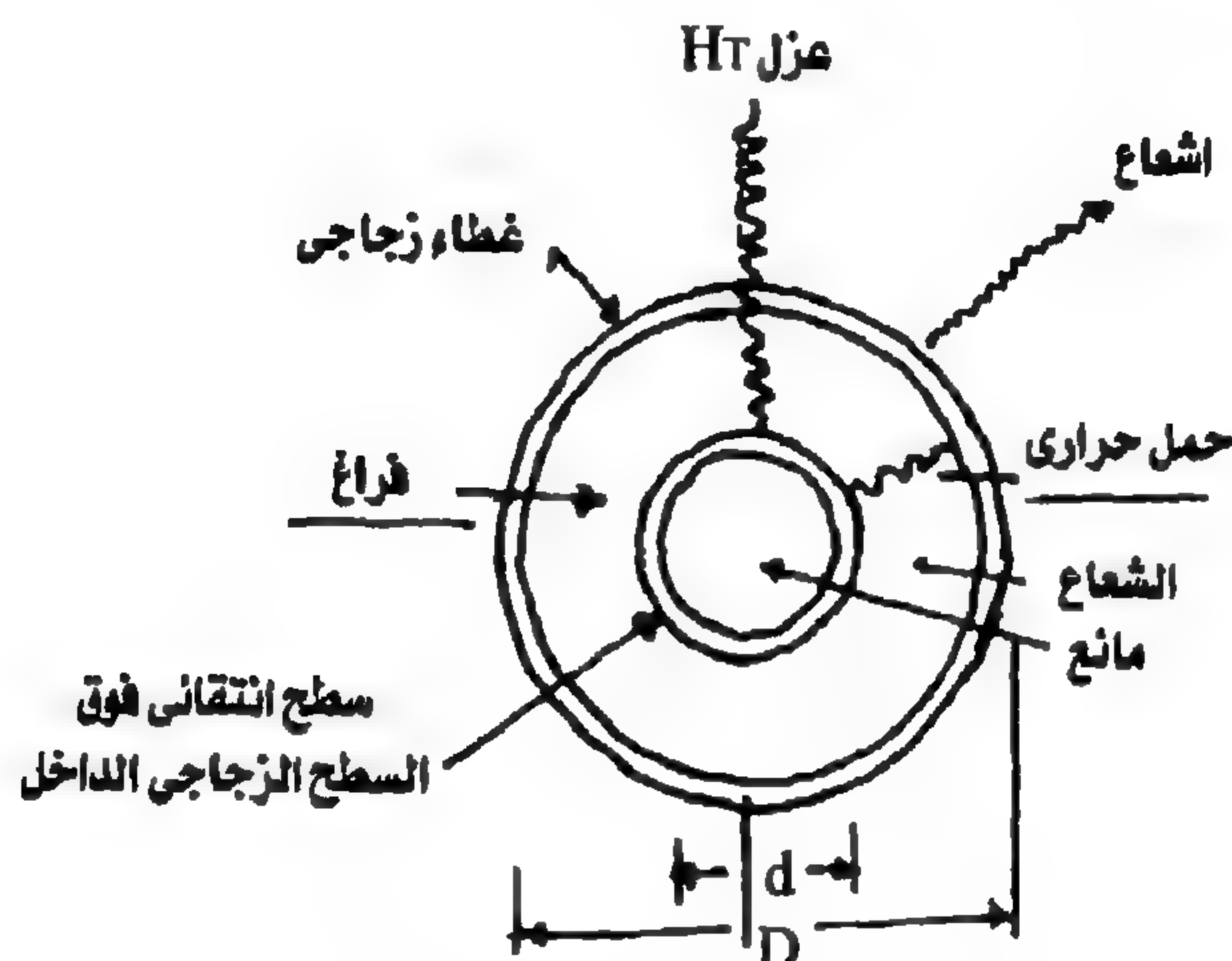
مقارنة بمعظم تصميمات اللوح المستوى، فإن المجمعات الأنبوبية المفرغة عادة يكون لها جزء صغير من المساحة الكلية المشغولة التي تقاطع حقيقة الإشعاع الشمسي. الفضاء بين الأنابيب، المساحات اللازمة لاقتراب المتشعبات والأنابيب الكل يتطلب فضاء، الذي يحدد التغطية بواسطة سطح الامتصاص الشمسي. بسبب إعاقة الحمل الحراري وتوفير سطح انتقائي، فإن قيم الكفاءة الناتجة بواسطة مجمع الأنبوب المفرغ تكون أعلا كثيراً عن تلك باستخدام المجمع الطاقى التقليدي. تشغيل المجمعات الأنبوبية المفرغة بصاحبه المعدل القليل للفقد الحراري بحيث أنه يمكن الحصول على درجة حرارة عالية (قريباً من 200°م) للمائع بكفاءات مقارنة مع تلك المحققة مع الأنواع

الإشعاع الشمسي: القياسات، البيانات والتقدير

الغير مفرغة التي تعمل عند 100°C فقط. في النسخ التجارية يكون قطر الأنبوب الزجاجي الخارجي حوالي من 6 إلى 7 سم وطولها حوالي واحد متر. وهي مناسبة فقط في الاستخدامات التي تتطلب درجات حرارة أعلا كثيراً عن تلك المستخدمة في التدفئة للمجال المحيط واستخدامات التسخين للماء.

تحليل المجمع المفرغ: (Analysis of An Evacuated collector)

المكونات الأساسية للمجمع الطافي في المفرغ هو أنبوب مزدوج (Double tube) مثل ذلك الموضح في الشكل (13/5-أ)



شكل (13/5) المجمع المفرغ

الأنبوب الخارجي يكون مصنوعاً من الزجاج نظراً لكونه شفافاً بالنسبة للإشعاع الشمسي ولكن ليس للإشعاع الحراري. كذلك فإن الأنبوب الداخلي يكون من الزجاج الذي يحافظ على التفريغ أفضل من معظم المواد الأخرى معدل التصاعد الخارجي للغازات من زجاج المحمص المقاوم للنار (Baked Pyrex glass) بحيث أن الضغط يمكن المحافظة عليه إلى أقل (0.1N/m^2) لمدة 300 عام، والذي هو حوالي (10^{12}) ضعف ذلك للأنبوب النحاس. الأنبوب الداخلي له مقطع مستدير. هذا يساعد على زيادة التحمل للزجاج الضعيف إلى حد ما لقوى الشد الناتجة فيه بواسطة فرق الضغط بين المائع بالداخل والتفريغ الخارجي. مثالياً، الأنابيب يكون لها قطر خارجي $D = 2$ سم في قطر داخل $d = 1$ سم. بالتوصيل المناسب لمصفوفة من تلك الأنابيب، فإن المجمع الطافي يمكنه استقبال كلاً من الإشعاع المباشر والمنتشر. الكثير من المتغيرات على الأساس الهندسي ثم محاولتها كما سبق توضيحه ولكن ذلك الموضح في الشكل (13/5-أ) هو الذي يمكن تحليله ببساطة.



الفصل السادس

المجمعات الطاقية الشمسية :

مجمعات اللوح المستوى،

مجمعات تسخين الهواء

**Solar collectors: Flat plate air
heating collectors
solar air heaters**

مقدمة :

سخانات الهواء الشمسية لها مكان هام من بين مجمعات التسخين الشمسي. يمكن استخدامها كنظم غير رئيسية في كثير من النظم المعنية باستخدام الطاقة الشمسية. الاستخدامات الممكنة لسخانات الهواء الشمسية هي التجفيف أو الإنضاج للمحاصيل الزراعية، تدفئة الجو المحيط، إعادة توليد عوامل إزالة الرطوبة، تجفيف أو تخفيض الرطوبة في الأخشاب (Seasoning of timber)، إنضاج (Curing) المنتجات الصناعية مثل البلاستيك. عموماً سخانات الهواء الشمسية مناسبة في الاستخدامات لدرجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة حيث أن تصميماتها بسيطة نسبياً. عندما يكون الهواء عند درجة حرارة مرتفعة فإن تصميم السخان يصبح معقداً وبالتالي عالى التكلفة. مع التوجه الحديث لتوفير كلاً من التدفئة والتبريد بالطاقة الشمسية، فإن سخانات السائل للعمل عند درجة الحرارة العالية أصبحت المحببة. طالما أن استخدام تدفئة الهواء لتحقيق الجو المريح، فإن سخانات الهواء الشمسية هي الاختيار المنطقي.

تسخين المائع بواسطة الشمس، ثم نقل الحرارة إلى الهواء ينتج عنه فقد في جهد درجة الحرارة المتاحة. إذا كانت حدود استخدامات الطاقة الشمسية بالنسبة لدرجات الحرارة التي يمكن الحصول عليها والكفاءات ذات العلاقة وكذلك متطلبات السعر المنخفض، فإنه يكون من المناسب إبعاد أى عمليات خاصة بالانتقال الحرارى. الاستخدام المباشر لدوران الهواء خلال سخان الهواء الشمسي كمادة التشغيل يقلل كذلك من عدد المكونات اللازمة في النظام. يمكن استخدام التسخين الشمسي للهواء بكفاءة عالية للتجفيف تحت ظروف محكمة. السخانات الشمسية التي تقوم بإمداد الهواء إلى المجفف التقليدي أو التصميم الذي يجمع سخان الهواء وحجرة التجفيف في خدمة (أو تغليف) واحدة له مميزات الكفاءة والسعر لاستخدامات التجفيف. سخانات الهواء الشمسية كذلك تبعد التآكل ومشاكل التسرب والتي يمكن أن يكون من الصعب مقاومتها بالإضافة إلى تكلفتها. سعر السخان الهوائي يمكن أن يقل كثيراً مقارنة بنظم السائل. استخدام الضغوط العالية في سخانات السائل تجعل من الضروري استخدام مسطحات وأنابيب معدنية عالية التحمل للضغط. سخانات الهواء يمكن تصميمها باستخدام مواد أقل حتى بعض المخلفات عديمة القيمة التجارية.

النظم الهوائية ذات جاذبية تفوق النظم السائلة ذلك لأنها تحتاج إلى سباكة أقل وبذلك أقل في التكلفة. تعقيدات نظم السائل الناتجة من مشاكل التجمد خلال المجمعات، والحاجة لإمكانية التمدد للسائل عند سخونته، متضمنة تبخر السائل إلى الحالة الغازية (مثل تبخر الماء إلى البخار)، واحتمال التسرب في أى مكان في النظام، وكذلك تآكل معدن السباكة. البساطة النسبية لنظم الهواء جذابة لهؤلاء الذين يرغبون في بناء نظامهم الخارجى، ولكن كما هو الحال لكل النظم الخاصة بجمع وتخزين واستخدام طاقة

الشمس، فإن التصميم المدقق صعب والكل باستثناء التصميمات البسيطة يجب أن يتم تصميمها بمن لديه معرفة في مبادئ الميكانيكا والانتقال الحرارى. مجمعات الهواء هي كذلك من السهل صيانتها وإصلاحها. المراوح، محركات الإعاقاة أو التخميد (Damper Motors) والإحكام يمكن أن تقشل أو تعجز، ولكن المكونات الضخمة بما فيها المجمعات وتخزين الحرارة والمواسير تستمر إلى مالا نهاية. إنشاء المجمعات الهوائية والمكونات المرتبطة بها والنظم تعتبر بسيطة نسبياً وذلك عند مقارنتها بأعمال السباكة ومحاولة وجود لوح امتصاص طاقة متوافقاً مع النظم السائلة. ألواح الامتصاص المتوافقة مع النظم الهوائية يكون تداولها سهلاً، حيث أنها غير متصلة بنظام سباكة، ويجب أن تكون مانعة للتسرب ونظراً لأنه لا يوجد حرص نحو مجالات التمدد والانكماش، فإنه لا يتطلب إنشاءها كثيراً من الدقة والإحكام.

في الحقيقة، بالنسبة لمجمعات الهواء، فإن السطح الماص ليس من الضروري أن يكون من المعدن، كما سبق ذكره. حيث في كثير من تصميم المجمعات، يأتي الهواء ملتصقاً مع كل سطح تم تسخينه بالشمس، الحرارة لا تحتاج إلى التوصيل من مساحة ما من سطح الماص إلى أخرى، كما في حالة ألواح الامتصاص لمجمعات السائل. غالباً أى سطح أسود الذى يتم تسخينه بالشمس سوف ينقل الحرارى إلى الهواء وذلك عندما يهب الهواء عليه. آلية الانتقال الحرارى هذه تفتح العديد من الإمكانيات لسطح الماص.

قد توجد مشكلة كبيرة فى حالة المجمع الذى لا يتم تصحيحه بطريقة جيدة بخصوص حدود الانتقال الحرارى من لوح الماص إلى مائع الاستخدام لسخانات الهواء. توجد طرق عديدة لتحسين كفاءة الانتقال الحرارى ولذا فإن الكفاءات تكون مقارنة إلى حد ما مع سخانات السائل.

عيوب السخان الهوائى هي:

1- الحاجة إلى تداول أحجام كبيرة من الهواء مقارنة بالسوائل بسبب انخفاض كثافة الهواء كمادة تشغيل.

2- الطاقة الحرارية للهواء منخفضة. فى الحالات حيث يكون المطلوب التخزين الحرارى، فإن الماء هو المتفوق. الماء يمكن استخدامه كمادة انتقال حرارى وكمادة تخزين حرارى. مشكلة التجمد يمكن التغلب عليها باستخدام محلول مضاد للتجمد. بسبب التكلفة العالية لمحاليل مقاومة التجمد، فإن تكلفة التخزين الحرارى للسائل يمكن أن تكون عالية. اقترح استخدام مقاوم التجمد للمبادلات الحرارية للماء (حيث الماء يكون مادة التخزين) يقلل من تكلفة نظام التخزين ولكن يمكن تبرير الفقد القليل فى درجة الحرارة المتاحة وتكلفة المبادلات عالية

المجمعات الطافية الشمسية

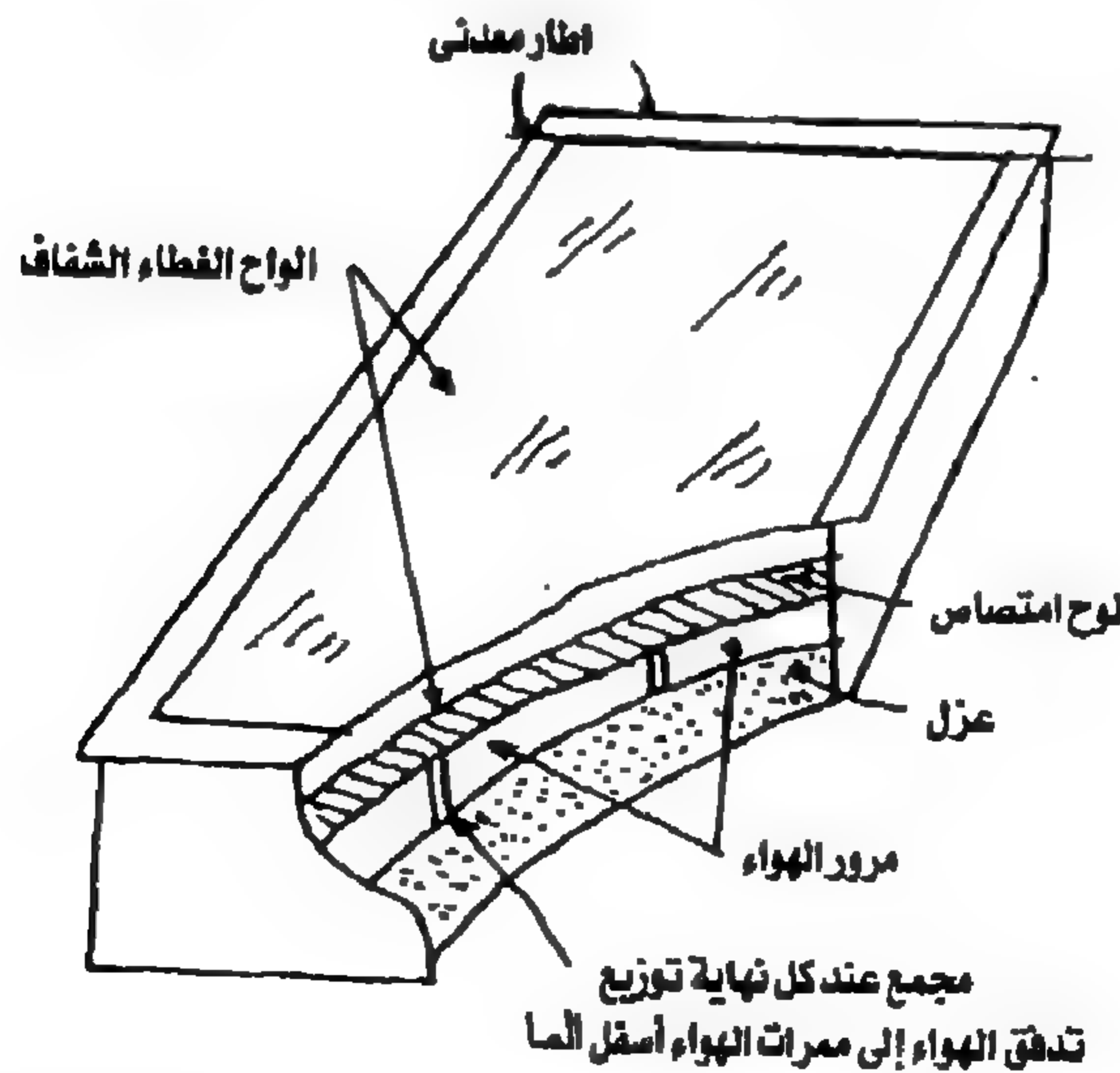
الحرارة. الاختيار النهائي لمائع الاستخدام للطاقة الشمسية هو موضوع معقد الذى يتطلب تحليل مقارن حذر للأداء الحرارى، التشغيل، الصيانة، والمعايير الاقتصادية.

- 3- له تكلفة تدوير مائع مرتفعة نسبياً (وخاصة فى حالة عدم التدقيق فى تصميم وحدة التخزين الحرارى)
- 4- له أحجام كبيرة نسبياً للتخزين (تقريباً ثلاث أضعاف تلك المستخدمة فى التخزين الحرارى بالماء).
- 5- له مستوى عالى من الصوت.
- 6- النظام له صعوبة نحو إضافة مكونات الهواء التقليدية بالامتصاص إلى نظم الهواء.
- 7- الحاجة على مساحة فراغية للمواسير.

نظم التسخين الشمسى للماء تستخدم مجال الانتقال الحرارى والتخزين فى مساحات من (دول العالم) حيث لا يتم مقابلة درجة حرارة التجمد. حجم تخزين المياه هو غالباً ثلث حجم الضرورى لتخزين كميات مساوية من الحرارة للنظم الهوائية. النظم السائلة هى أكثر سهولة فى التأقلم نحو إمداد الطاقة إلى مكيفات الهواء بالامتصاص وهى كذلك أقل إحداثاً لصخب الصوت مقارنة بنظم الهواء.

متطلبات الطاقة لضخ مائع الانتقال الحرارى تكون قليلة جداً مقارنة بنظم الهواء المستخدمة للنافخات (Blowers) لتدوير الهواء.

الشكل (1/6) يمثل جامع الطاقة بالتسخين الشمسى للهواء.



شكل (1/6) نموذج للمجمع الشمسى بتسخين الهواء

سخان الهواء التقليدي هو عبارة عن ممر مستوى بين لوحين متوازيين. أحد اللوحين يكون مسوداً لامتنصاص الإشعاع الشمسي الساقط. يوضع واحد أو أكثر من الأغشية الشفافة فوق السطح الماص. الهواء يتم تمريره خلال الممر وبذا يتم تسخينه. العزل حول الأجانب وقاع الوحدة يكون ضرورياً لخفض الفقد الحراري إلى أدناه. يوجد ثمانية متغيرات التي يجب أن يراعيها المصمم عند إنشاء السخان الهوائي وهي:

1- شكل السخان بالنسبة لنسب المواسير (القناة) وطول القناة التي يمر الهواء خلالها.

2- تدفق الهواء: يجب ضخ الهواء خلال السخان، زيادة سرعة الهواء تنتج من كفاءة التجميع ولكن تزيد من تكاليف التشغيل.

3- نوع وعدد الطبقات لمادة التغطية يجب مراعاته كما يجب اختيار خواص الانتقالية للطيف. عموماً، كلما كان المطلوب زيادة في درجة الحرارة، كلما زاد استخدام الأغشية، المبدأ نحو استخدام الأغشية المتعددة هو أن كل طبقة هواء بين غطائين متتاليين يوفر حاجز ضد الفقد الحراري من السطح الماص إلى الجو. درجة حرارة أقصى غطاء للوح تصبح منخفضة باستمرار مع زيادة عدد الأغشية، لذلك، فإن الفقد الحراري من اللوح الخارجي نحو الجو يقل. ولكن، مع العدد الكبير من الأغشية يزداد الفقد بالانعكاس (بالإضافة إلى التكلفة)، بحيث أنه نادراً ما يستخدم ما يزيد عن اثنين من الأغشية. الأغشية ذات القدرة العالية على الانتقالية وانخفاض الانعكاسية تكون مطلوبة للمحافظة على انخفاض كمية الانعكاس والامتصاص.

4- مادة اللوح الماص: رغم أن الأسطح الانتقالية يمكن أن تحسن كثيراً من أداء سخانات الهواء الشمسية بزيادة كفاءة التجميع، فإن المستخدم عادة هو السخانات الشمسية ذات الطلاء الأسود، ذلك بسبب تكلفة الأسطح الانتقائية، تتم تغطية الماص بالطلاء الأسود لامتنصاص أقصى كمية من الإشعاع الساقط. الماص يمكن أن لا يكون من مادة معدنية، نظراً لأن الهواء اللازم لتسخينه يكون ملتصقاً مع كل السطح الماص. هذا يعني أن التوصيل الحراري للوح الماص (Absorber) غير هام نسبياً.

5- حواجز الحمل الحراري الطبيعي: ثغرة الهواء الساكن تعترض الإعاقه العالية للتدفق الحراري بالحمل الحراري بين اللوح الماص والهواء الجوي. الفقد، في كل من الإشعاع والحمل الحراري يمكن خفضه إلى قيم منخفضة باستخدام

الأغطية المتعددة أو خلايا نحل العسل، ولكن ما يترتب على ذلك من خفض فى انتقالية الإشعاع الشمسى يوجد ما يزيد عن ثغرة هوائية ذات قيمة مشكوك فيها.

6- معامل الانتقال الحرارى من اللوح إلى الهواء: يمكن تخشين اللوح الماص وطلاءه لزيادة معامل المؤثر للانتقال الحرارى بين الهواء واللوح. الخشونة تحقق مستوى عالى من الاضطراب فى الطبقة المتاخمة لمسار تدفق الهواء. لهذا السبب، تكون المادة المفضلة للامتصاص هى الأسطح المموجة والشبك السلك.

7- يلزم العزل عند قاعدة اللوح الماص لخفض الفقد الحرارى خلال الجانب السفلى للسخان.

8- بيانات الإشعاع الشمسى الخاصة بالموقع يلزم توفيرها لتقييم أداء السخان.

المواد للمجمعات الطاقية للهواء ذات اللوح المستوى أو سخانات الهواء الشمسية:

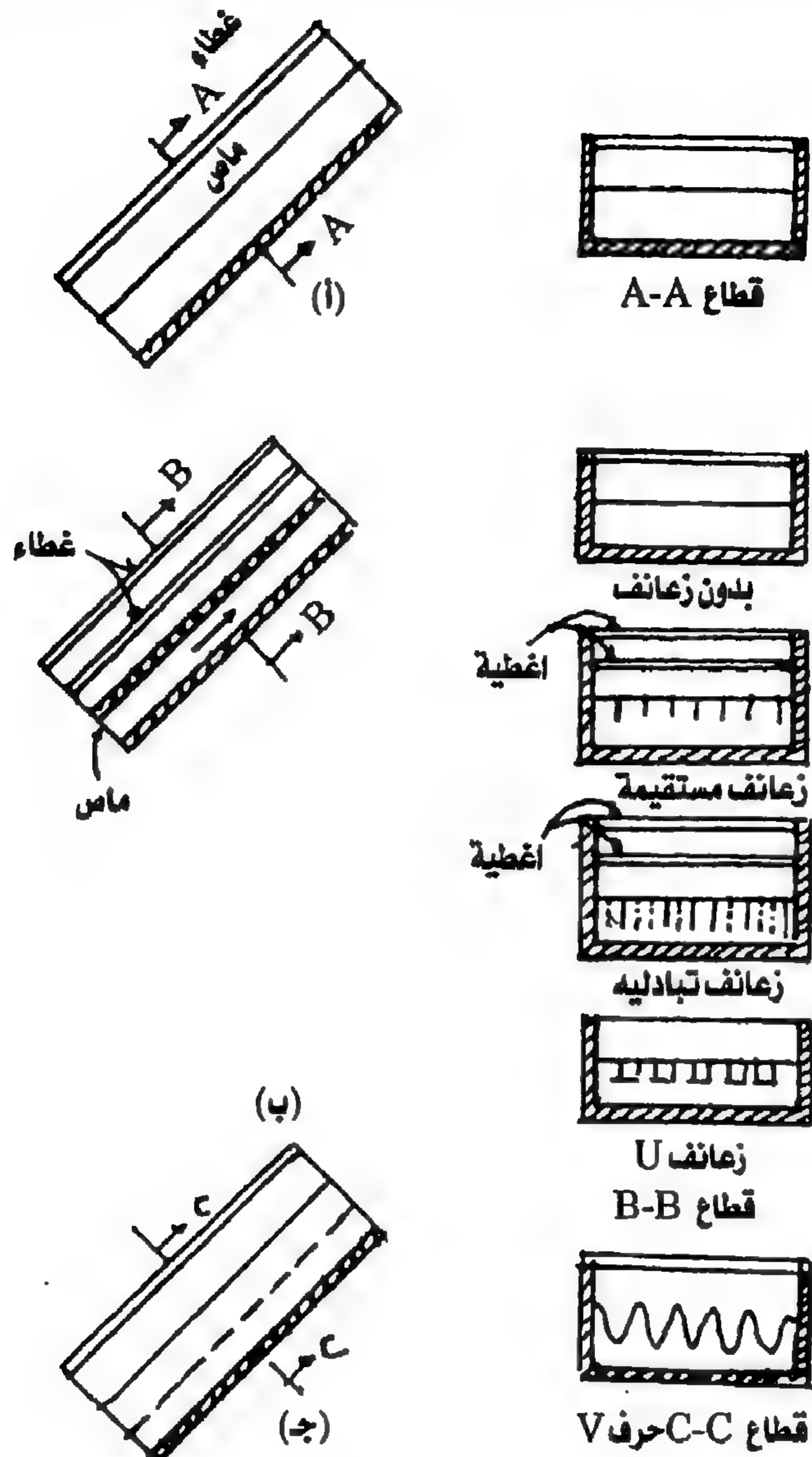
Materials for flat plate air collectors or solar air heaters:

- 1- الألواح الزجاجية :
- 2- الخردة المعدنية (قطع صفائح معدنية) ملتصقة مع عارضة قوية، خراطة معدنية، شبك من الصوف الزجاجى (مثل مرشحات الهواء)، الزجاج أو الصخر المطحون، المنسوجات أو حتى الورق. كثيراً من هذه يمكن الحصول عليها بأسعار زهيدة أو كمواد معاد استخدامها، ولكن السطح الكلى يجب أن يكون باللون الأسود، يجب تسخينه مباشرة بواسطة الشمس، كما يجب أن يلتصق مع الهواء المتدفق خلال المجمع.

أنواع السخانات الهوائية : (Types of air heaters)

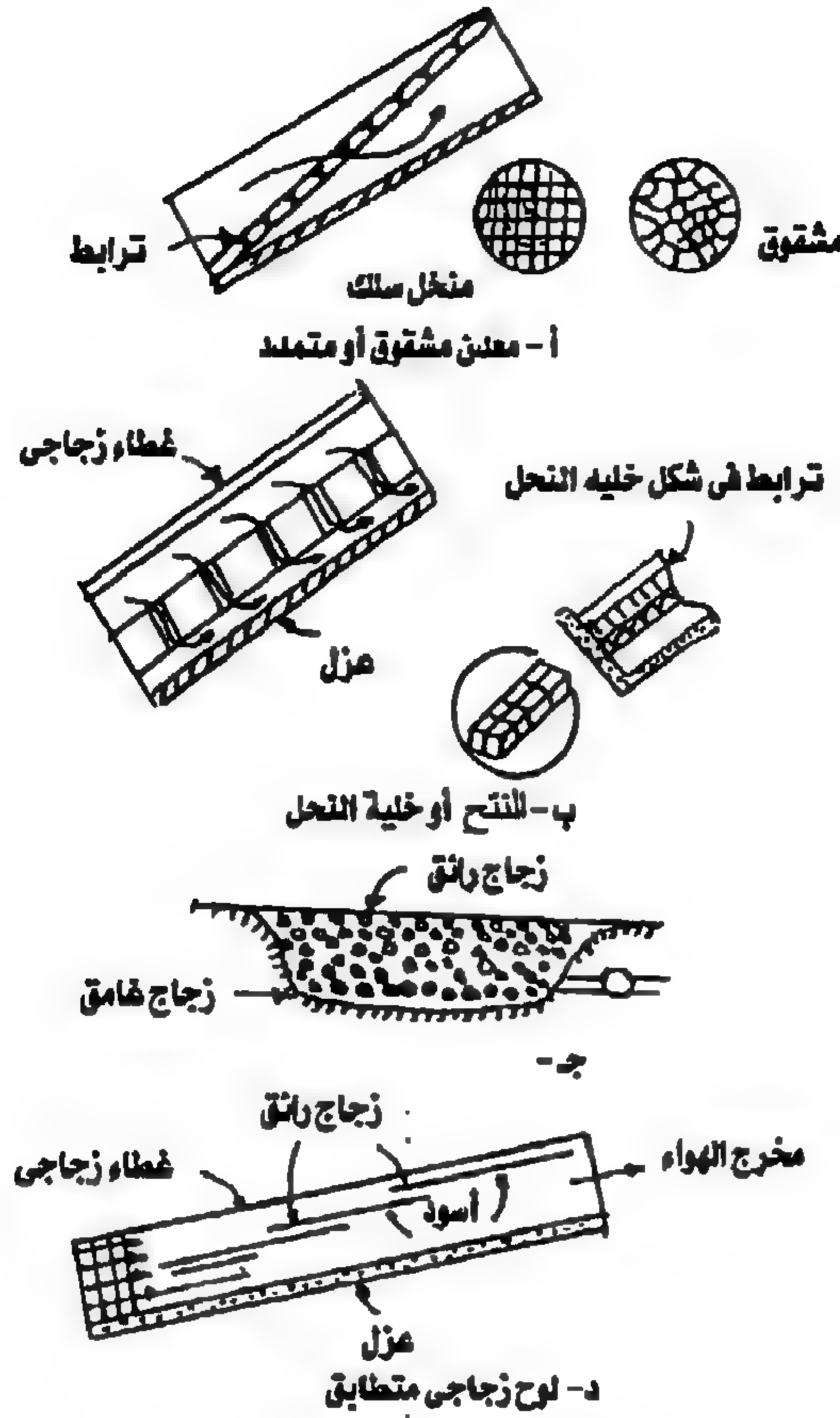
أساساً تنقسم السخانات الهوائية على صنفين:

- 1- الصنف الأول له ماص غير مسامى حيث مسار الهواء لا يسرى خلال اللوح الماص. الهواء يمكن أن يتدفق فوق و/أو خلف اللوح الماص كما هو مبين (شكل 2/6).



شكل (2/6) ماص غير مسامي لتسخين الهواء

2- النوع الثاني له الماص المسامي (Porous absorber) الذي يشمل الطفل، معدن ممدد، رشح خليه النحل، ماص لوح الزجاج المتطابق كما هو مبين في الشكل (3/6).



شكل (3/6) مخطط لسخانات الهواء من النوع الماص

المجمعات من نوع اللوح الماص الغير مسامي:

Non Porous absorber plate type collectors:

الماص الغير مسامي يمكن تبريده بتيار الهواء المتدفق فوق كلا جانبي اللوح كما هو موضح في الشكل (2/6-أ) في معظم التصميمات العادية يتدفق الهواء خلف سطح الامتصاص. تدفق الهواء فوق السطح العلوي يزيد الفقد بالحمل الحراري من لوح التغطية ولذلك لا يوصى به إذا كانت درجة حرارة دخول الهواء و/أو ارتفاع درجة الحرارة عند الجامع كبيرة كما هو موضح في الشكل (2/6-ب) . انتقال الإشعاع الشمسي خلال نظام الغطاء الشفاف وامتصاصه يشبه ذلك لنوع مجمع اللوح المستوي بالسائل. لتحسين كفاءة الجمع يمكن استخدام طلاء انتقائي شريطة عدم ارتفاع تكلفته. بسبب معدلات الانتقال الحراري المنخفضة، فإن الكفاءات تكون أدنى من سخانات السائل الشمسية تحت نفس الكثافة الإشعاعية وظروف درجة الحرارة. تحسين السخانات الهوائية يتم بالآتي:

(أ) تخشين مؤخرة اللوح لتنشيط الاضطراب وتحسين معامل الانتقال الحرارى بالحمل الحرارى أو

(ب) إضافة زعانف (Fins) لزيادة سطح الانتقال الحرارى. عادة يزداد ذلك الاضطراب الذى يدعم الانتقال الحرارى بالحمل الحرارى.

المجمع الشمسى ذو تموجات من النحاس فى شكل حرف (V) كما فى الشكل (2/6)

امتصاص الإشعاع الشمسى يتم تحسينه بسبب خواص السطح المشع وهندسة التموجات، التى تساعد فى احتجاز الإشعاع المنعكس.

المجمعات ذات الماصات المسامية: Collectors with porous absorbers

السلبية الرئيسية للوح الماص الغير مسامى هي ضرورة امتصاص كل الإشعاع القادم فوق المساحة المعرضة من طبقة رقيقة فوق السطح، والتى تكون فى حدود القليل من الميكرونات. فى حالة عدم استخدام طلاء أو تغطية انتقائية فإن الفقد الإشعاعى من لوح الماص يكون كبيراً، لذلك فإن كفاءة المجمع لا يمكن تحسينها. الهبوط فى الضغط على طول مسار تدفق الهواء الناتج بين لوح الماص والعزل الخلفى (Rear Insulation) يمكن كذلك أن يكون مانعاً خاصة فى حالة إضافة زعانف أو نتوءات (Fins) لزيادة سطح الانتقال الحرارى ومعدل الاضطراب. الصعوبة مع الاضطراب هي وجود انخفاض فى الضغط خلال المجمع. الأسطح الكثيرة جداً والإعاقات الكثيرة جداً لتدفق الهواء سوف تتطلب مروحة أكبر وكمية أكبر من الطاقة لدفع الهواء. الطاقة اللازمة لهذا تلغى الوفر من استخدام الطاقة الشمسية وخاصة إذا كانت المروحة كهربائية وإذا كانت كمية الطاقة التى يتم حرقها فى محطة الطاقة لإنتاج طاقة كهربائية تكون متاحة.

تلك العيوب يتم التخلص منها فى نوع الماص المسامى بطريقتين:

1- الإشعاع الشمسى يخترق إلى أعماق أكبر ويتم امتصاصه بالتدرج طبقاً لكثافة المادة المسامية (Matrix). تيار الهواء البارد والداخل من السطح العلوى للمادة يتم تسخينه أولاً بالطبقات العليا والتى تكون أكثر برودة مقارنة بالطبقات السفلى. تيارات الهواء تسخن عند عبورها لطبقات المادة. طبقات المادة المسامية السفلية تكون أكثر سخونة مقارنة بالعليا، لذلك فإن تدفق الهواء يمكنه نقل الحرارة من المادة. الاختيار الغير صحيح للمادة المسامية والسمك يمكن أن ينتج عنه خفض فى الكفاءة حيث طبقات المادة المسامية الإضافية ما بعد الحد الأقصى قد لا تمتص الإشعاع الشمسى وتسخين تدفق الهواء.

2- الانخفاض فى الضغط للمادة المسامية يكون عادة أقل من ذلك للماص الغير مسامى مع تدفق خلف اللوح، حيث التدفق لكل وحدة مقطع سيكون أقل كثيراً رغم المادة التى تدفق إلا أن الهبوط فى الضغط لصاصات المادة المسامية لا

يزال أقل عن ذلك للماصات الغير مسامية. التسخين الشمسي للهواء باستخدام نتج خلية النحل (Transpired Honey-comb) في الشكل (3/6-ب) محببه كذلك من وجهة نظر انخفاض الضغط حيث مقطع التدفق يكون كبيراً.

لقد اقترح (Whiller) في عام (1963) طريقة لاستخدام طبقات من الزجاج المفتت لامتصاص الإشعاع الشمسي وتسخين الهواء. الطبقة المسامية الموضحة في الشكل (3/6-ج) المصنوعة من طبقات من كسر الزجاجات (القاع أسود والسطح زجاج رائق) يمكن استخدامه سريعاً في عمليات التجفيف للحاصلات الزراعية بأقل التكاليف. سخان الهواء بلوح الزجاج المتطابق موضح في الشكل (3/6-د) الذي يمكن اعتباره كشكل من المادة المسامية، رغم أن الاتجاه الكلي للتدفق يكون على طول ألواح الماص الزجاجية بدلاً من كونه خلال الطبقة (Across the matrix). تزداد درجة حرارة اللوح وتيار الهواء بالتدرج على طول استطالة المجمع وخلال من القمة إلى القاع. لذلك، فإن الفقد الحراري يمكن خفضه كثيراً. الهبوط في الضغط يكون كذلك أقل كثيراً مقارنة بتصميم لوح الماص المستوى الغير مسامي.

أداء سخانات الهواء الشمسية : Per formance of solar air heaters

أداء سخان الهواء الشمسي هو ناتج الكفاءة الكلية كما في حالة جامع اللوح المستوى. الغطاء الشفاف فوق لوح الماص الغير مسامي يمكن أن يكون من ألواح الزجاج أو ألواح من البلاستيك أو مجموع بينهم.

استخدامات سخانات الهواء الشمسية: Applications of solar air heaters

التسخين باستخدام واحد من المجمعات الحرارية التي سبق وصفها يمكن استخدامه أساساً في العمليات الآتية:

- 1- التدفئة المنزلية.
- 2- تكييف الهواء في المباني باستخدام طبقات تجفيف (Desiccant beds) أو عملية تبريد بالامتصاص.
- 3- تجفيف الحاصلات الزراعية والأخشاب.
- 4- تدفئة الصوبة الزراعية.
- 5- استخدام سخانات الهواء كمصدر للحرارة للمحرك الحراري مثل دورة (Branton or strirling).

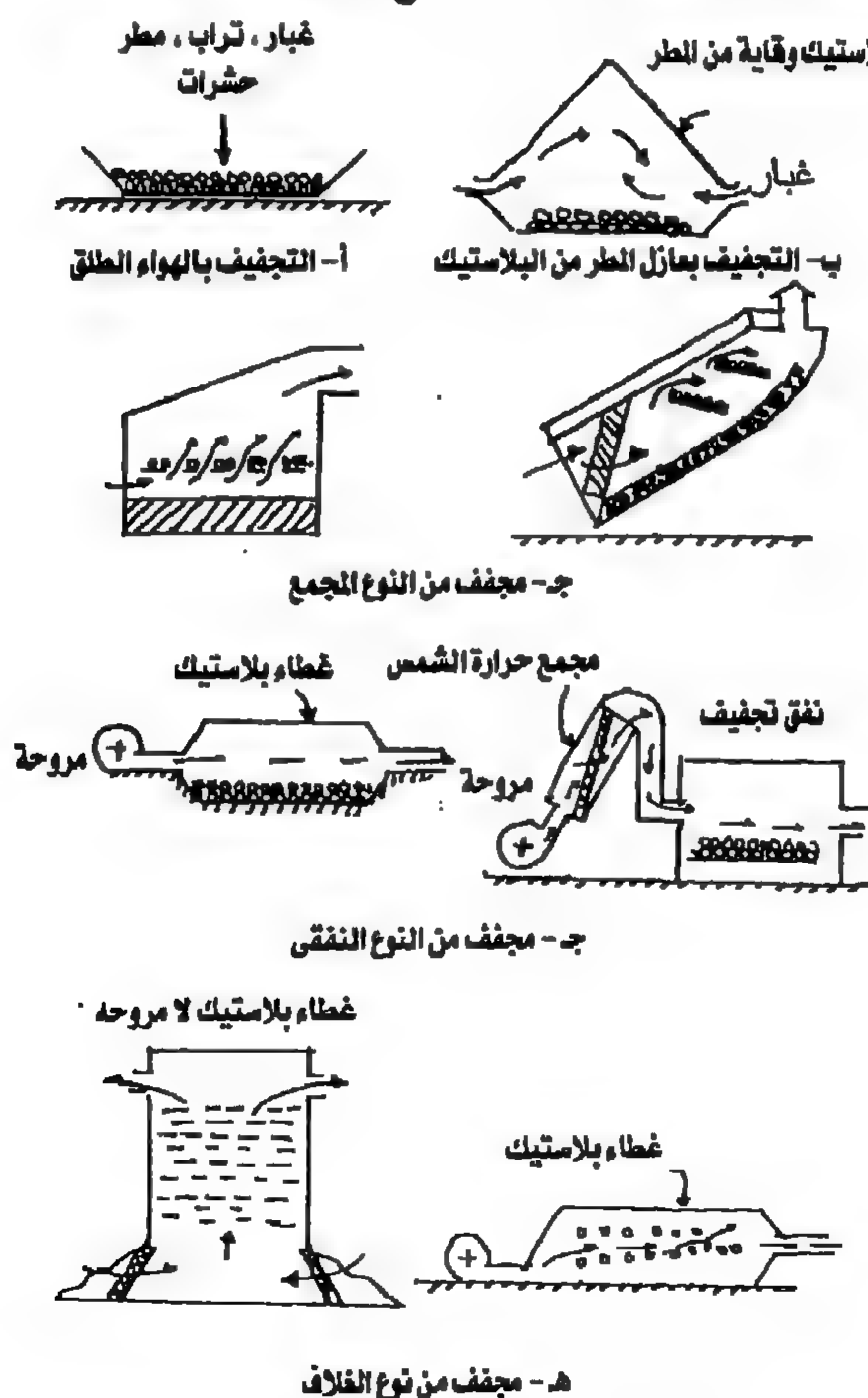
1- بالنسبة للتدفئة المنزلية، مثل الحجرات، الامتصاص المباشر للإشعاع الشمسي مع استخدام النافذة العمودية على حرارة الشمس (The rmoplane window). استخدام مادة التخزين الحراري من نوع حرارة الانصهار والتي تعمل درئ حراري في الحجرة (Thermal buffer). يستخدم كذلك ملح جلوبر ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) وكومة الصخر (Rockpile) كمجال للتخزين الحراري. تستخدم كذلك المجمعات الحرارية الشمسية

المجمعات الطافية الشمسية

للتدفئة المنزلية بواسطة الملح ذو درجة انصهار دنيا (Eutectic salt) للتخزين الحراري. المجمعات تولد الكهرباء خلال خلايا (Cds) بالإضافة لتسخين الهواء. تصميم الماص بالنتوءات والزعانف للسخان الهوائي يكون هو المفضل.

2- لقد اقترح (Dunkle - 1966) تكييف الهواء الشمسي باستخدام طبقات التجفيف. اقتراح آخر هو الحصول على التبريد باستخدام الحرارة السخانات الشمسية الهوائية، في مولد مكيف الهواء بالامتصاص. درجة حرارة المولد يتم المحافظة عليها عند 95°م.

3- مميزات التجفيف الشمسي مقارنة بالتعرض المباشر للشمس وذلك بالنسبة للحاصلات الزراعية أصبح مقبولا. المجففات الشمسية يتوقع استخدامها بواسطة المزارعين ذوي المهارات المحدودة واستثمارات صغيرة، لذلك فإن تلك الاقتراحات ستكون بسيطة وغير مكلفة وتستخدم أقل مساحة أرضية. عمليات التجفيف الشمسي الأساسية ومختلف التصميمات المقترحة موضح في الشكل (4/6).



شكل (4/6) عملية التجفيف الشمسي ومختلف التصميمات للمجفف

المجففات من نوع الإحاطة الكاملة (Totally Enclosed) توفر الحماية من الغبار، والأوساخ ودخول الحشرات وإمكانية إحكام معدل التجفيف. المجففات من نوع الحجرة الصغيرة (Cabinet type) يمكن أن تخدم الاحتياجات الأسرية، بينما الاستخدامات على المستوى الكبير التجارية تلزم استخدام مجففات من نوع النفق أو من نوع الرف (Tunnel Or shelf type). المجفف البلاستيك المنفوخ (In flated) هو الأبسط في الإنشاء، ولكن شحن المنتج الرطب، التقليل أثناء التجفيف والتفريغ يمكن أن يكون مشكلة. المجففات من نوع الرف ذات البطانة من البلاستيك بدون تدوير بدفع الهواء تستخدم بكثرة في استراليا.

4- الامتصاص المباشر للإشعاع الشمسي يستخدم في الصوبة الزراعية (Green House) التي تعمل كسخان شمسي هوائي بدون تدوير للهواء. المصطلح تأثير الصوبة (Green House effect) يشير عادة إلى سخانات الهواء الشمسية، المستخدمة للترجج الشفاف. هذه الظاهرة كانت لإحكام درجة حرارة الصوبة، الانتقالية للإشعاع الشمسي قصير الموجة خلال ترجج الصوبة وذلك باحتجاز الإشعاع الخارج.

5- استخدام السخانات الهوائية كمصدر حراري للمحرك الحراري، والذي يتطلب درجات حرارة في حدود مائة درجة والتي هي فوق المجال العملي للمجمعات التي تم وصفها. والمقترح هو المجمعات من نوع المركبات (Concentrating type). تسخين وتجفيف الحاصلات الزراعية:

Heating and drying of agricultural products:

مقدمة :

تجفيف الحاصلات الزراعية تحت أشعة الشمس وذلك بنشرها على الأرض هي الطريقة المتبعة في عدة أماكن. هذه الطريقة غير مكلفة ولكن لها العديد من السلبيات. سلبية التجفيف الشمسي بالهواء المفتوح يشمل الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية خلال اليوم. احتمال التلوث للمحصول بالأوساخ والحشرات، تعرض المحصول إلى عوامل مثل الرياح والمطر، والتي تسبب التلف والفقد والتعرض للطيور. مع اعتبار تلك العوامل، فإنه من الممكن وجود نظم حديثة ومتطورة التي تعطي منتج مباشر ذو نوعية جيدة. التكلفة مرتفعة، ولكن معظمها يحتاج إلى استخدام الطاقة الكهربائية لتشغيل المروحة والوقود السائل لتوفير الحرارة اللازمة للتجفيف. توجد محاولة للتركيز على تطوير المجففات الشمسية التي يمكن أن تستخدم في التجفيف. تلك المجففات كانت للمستوى الصغير حيث يكون زمن التجفيف أقل وتحسين نوعية المنتج النهائي مقارنة بالطريقة التقليدية. أحد الطرق البسيطة لمجمع الطاقة الشمسية هو باستخدام مجمعات اللوح المستوى (Flat plate collectors). الهواء الذي يتم تسخينه يمكن استخدامه في

تجفيف الحبوب بسرعة وبكفاءة. بعد التجفيف، يتم طحنه والذي يشمل عمليات فرز الحبوب وتبيضها كما في حالة الأرز ثم فصل الحبيبات السليمة عند الكسر.

متوسط الإشعاع الشمسي الماقط على سطح أفقى في منطقتنا العربية هو في حدود من 400 - 700 كالورى/سم²/اليوم. كثافة الإشعاع تتغير طبقاً للمواسم خلال العام ما بين 700 كالورى/على السنتيمتر المربع في اليوم في فصل الصيف إلى حوالى 300 سعر حرارى على السنتيمتر المربع في اليوم في فصل الشتاء. الإشعاع الشمسي للسطح المائل يكون أعلا عن تلك القيم تقريباً. أعمال البحث في التجفيف الشمسي تم توجيهها في اتجاهين. الأول، هو العمل في مجال التجفيف المباشر، حيث يتم تعريض المادة إلى الإشعاع الشمسي وبامتصاص الطاقة وتدوير الهواء، الرطوبة يحدث لها تبخر وتنتشر في الجو. الوحدة تسمى غرفة المجفف الشمسي (Solar cabinet dryer) وهي وحدة منزلية. التجفيف الثنائى يتم تنفيذه بطريقة غير مباشرة باستخدام سخان الهواء الشمسي من النوع الذى يوفر الهواء الساخن لفصل وحدة التجفيف.

هذه يمكن أن تكون مفيدة في الصناعات الكبيرة التى تحتاج إلى الهواء الساخن. الجمع بين هذين النوعين للتجفيف الشمسي يمكن استخدامه كذلك.

نظرية التجفيف الشمسي : (Theory of solar drying)

المطلب الأول هو انتقال الحرارة إلى سطح المادة الرطبة

(أ) بالتوصيل الحرارى من السطح الساخن في حالة الالتصاق المباشر مع المادة.

(ب) التوصيل الحرارى والحمل الحرارى من الشمس.

امتصاص الحرارة بواسطة المادة يوفر الطاقة الضرورية لتبخير المياه منها.

تجفيف المحصول ببساطة خلال تدوير الهواء الجاف نسبياً حوله، يعرف بالتجفيف بدون التبادل الحرارى (Adiabatic Drying). الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة يتم توفيرها بالهواء على المادة الصلبة، حيث تقل درجة حرارة الهواء بينما تزداد درجة رطوبته النسبية. الهواء الذى يترك المجفف يكون عادة مشبع، قريباً من درجة حرارة البصيلة المخضلة (Wet Bulb temperature) للهواء القادم. بسبب انخفاض الطاقة الحرارية للهواء مقارنة للحرارة الكامنة العالية للمياه المتبخرة، فإن حجم كبير من الهواء له رطوبة منخفضة نسبياً يجب أن يتم استخدامه في هذا النوع من عملية التجفيف.

لذلك فإن التجفيف يتضمن كلا من عمليات الانتقال الحرارى، الانتقال المادى فى توقيت واحد. فى التجفيف بالحمل الحرارى، الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة من المنتج يتم توفيرها بالهواء. عملية التجفيف تنقسم إلى تجفيف الطبقة الرقيقة، وتجفيف الطبقة العميقة. تجفيف الطبقة الرقيقة يشير إلى عملية تجفيف الحبوب حيث تكون كل

المجمعات الطافية الشمسية

الحبوب معرضة لتجفيف الهواء تحت ظروف تجفيف ثانية أى عند درجة حرارة هواء ثابتة ورطوبة ثابتة. عموماً السمك حتى 20 سم لطبقة الحبوب يعتبر طبقة رقيقة.

محتوى الرطوبة وقياسها Moistare content and it's measurement

محتوى الرطوبة لمادة يقدر بالنسبة المئوية للوزن على أساس الرطوبة ولكن محتوى الرطوبة على أساس الجفاف يكون أكثر بساطة لاستخدامه في الحسابات حيث كمية الرطوبة الموجودة في أى وقت تتناسب مع المحتوى من الرطوبة (m)، نسبة الأساس الرطب هي:

$$M = \frac{Wm}{Wm + Wd} \times 100$$

حيث:

Wm = وزن الرطوبة

Wd = وزن المادة الجافة

محتوى الرطوبة M ، أساس جاف، نسبة مئوية هو:

$$M = \frac{Wm}{Wd} \times 100 = \frac{m}{100 - m} \times 100$$

يمكن كذلك ملاحظة

$$\frac{Wm}{W_1} = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_2} = \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1}$$

$$\frac{Wm}{W_2} = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_1} = \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1}$$

حيث :

W_1 = الوزن الأول لمادة التجفيف = $(Wm + Wd)$ كيلو جرام

W_2 = الوزن النهائى للمادة التى تم تجفيفها.

m_1, m_2 = نسبة المحتوى من الرطوبة الأولية والنهائية على أساس الرطوبة.

M_1, M_2 = نسبة المحتوى من الرطوبة الأولية والنهائية على أساس الجفاف.

قياس الرطوبة يمكن عمله بالآتى:

1- الطرق المباشرة.

2- الطرق الغير مباشرة.

الطريقة المباشرة تشمل طريقة التجفيف بفرن الهواء (Air Oven) الطريقة الغير مباشرة تشمل طريقة المقاومة الكهربائية، حيث يتم قياس المقاومة الكهربائية لكمية معلومة

من عينة الحبوب عند درجة معينة من الدمك ومن درجة الحرارة. المقاومة الكهربائية تتغير مع المحتوى من الرطوبة، ودرجة الحرارة، ودرجة الدمك. بالمعايرة الصحيحة للجهاز فإنه يمكن قياس المحتوى من الرطوبة. مقياس الرطوبة العالمي يستخدم هذه الطريقة ويقرأ محتوى الرطوبة في الحبوب مباشرة.

عند تعرض الصلب للإمداد المستمر بالهواء عند درجة حرارة ورطوبة ثابتة وله ضغط جزئي ثابت للبخر مقداره (P)، فإن الصلب إما أن يفقد الرطوبة بالتبخير أو أن يكتسب رطوبة من الجو لحين وصول ضغط البخار لرطوبة الصلب مساوياً للمقدار (P). الصلب والغاز (الهواء) يكونا عندئذ في حالة اتزان، ومحتوى الصلب من الرطوبة يكون في حالة اتزان مع الظروف المحيطة والذي يعرف باتزان المحتوى من الرطوبة (Equilibrium Moisture content) ويرمز له بالرمز (E.M.C). (EMC) اتزان المحتوى من الرطوبة يفيد في تعيين ما إذا كان المنتج سوف يكتسب أو يفقد رطوبة تحت ظروف حالات معينة من درجة الحرارة والرطوبة النسبية. لذلك فإن اتزان المحتوى من الرطوبة يكون له علاقة مباشرة مع التجفيف والتخزين. مختلف المواد لها مختلف اتزان المحتوى من الرطوبة. اتزان المحتوى من الرطوبة يتوقف على درجة الحرارة والرطوبة النسبية للبيئة المحيطة وعلى حالات النضج المختلفة للحبوب.

اتزان المحتوى من الرطوبة يتم تعيينه بطريقتين:

1- الطريقة الاستاتيكية.

2- الطريقة الديناميكية.

في الطريقة الاستاتيكية يسمح للحبوب لتكون في حالة اتزان مع هواء المجال المحيط الساكن بدون أي تقلب بينما في الطريقة الديناميكية عادة يتم دفع الهواء. يتم تعيين اتزان المحتوى من الرطوبة تحت حالات للهواء ذات ثبات للرطوبة النسبية ودرجة الحرارة.

أنواع الرطوبة: (Types of Moisture)

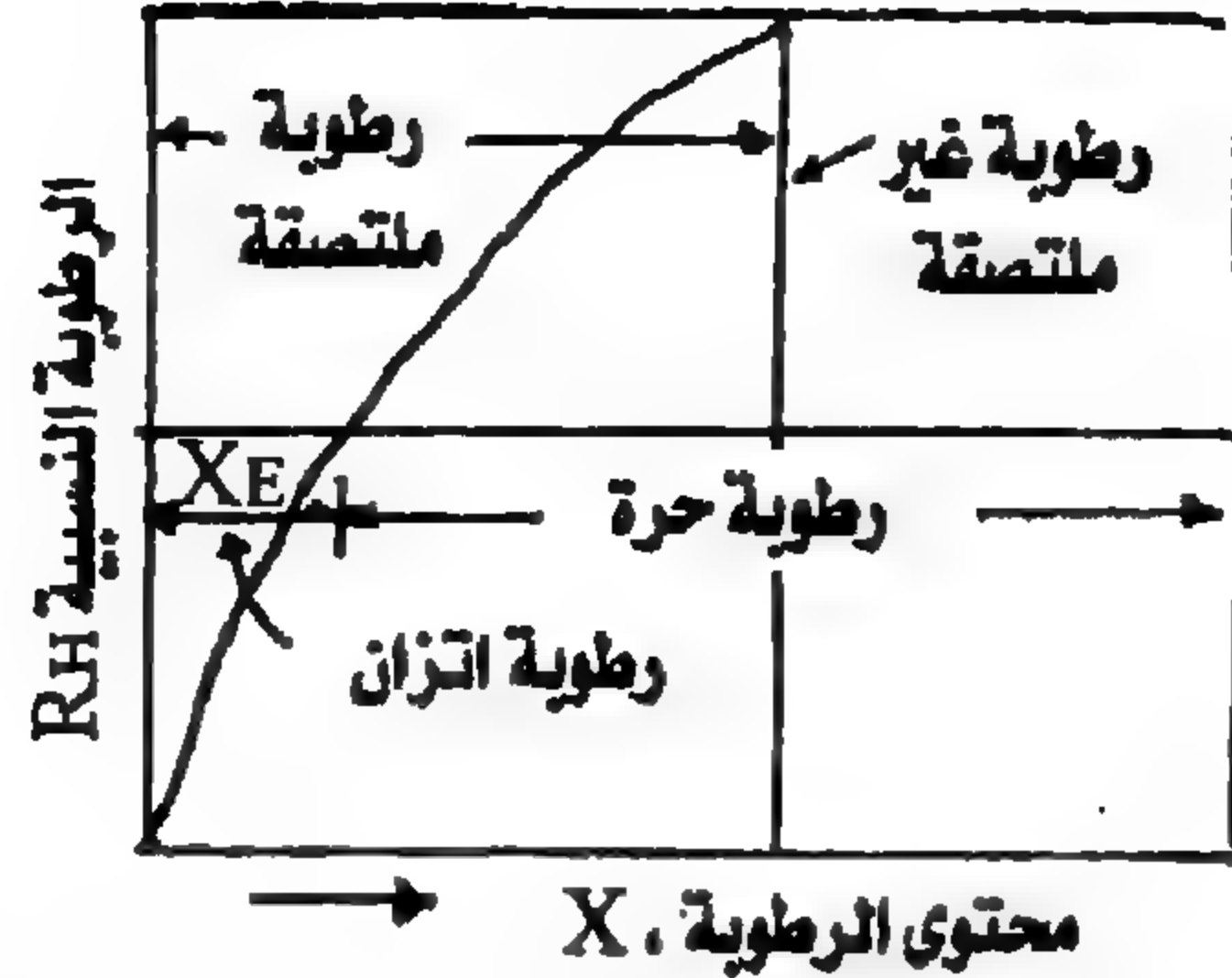
الرطوبة المقيدة: (Bound Moisture)

الرطوبة المقيدة تشير إلى الرطوبة التي تحتويها مادة والتي تنتج اتزان ضغط بخار يساوي لذلك للسائل النقي عند نفس درجة الحرارة.

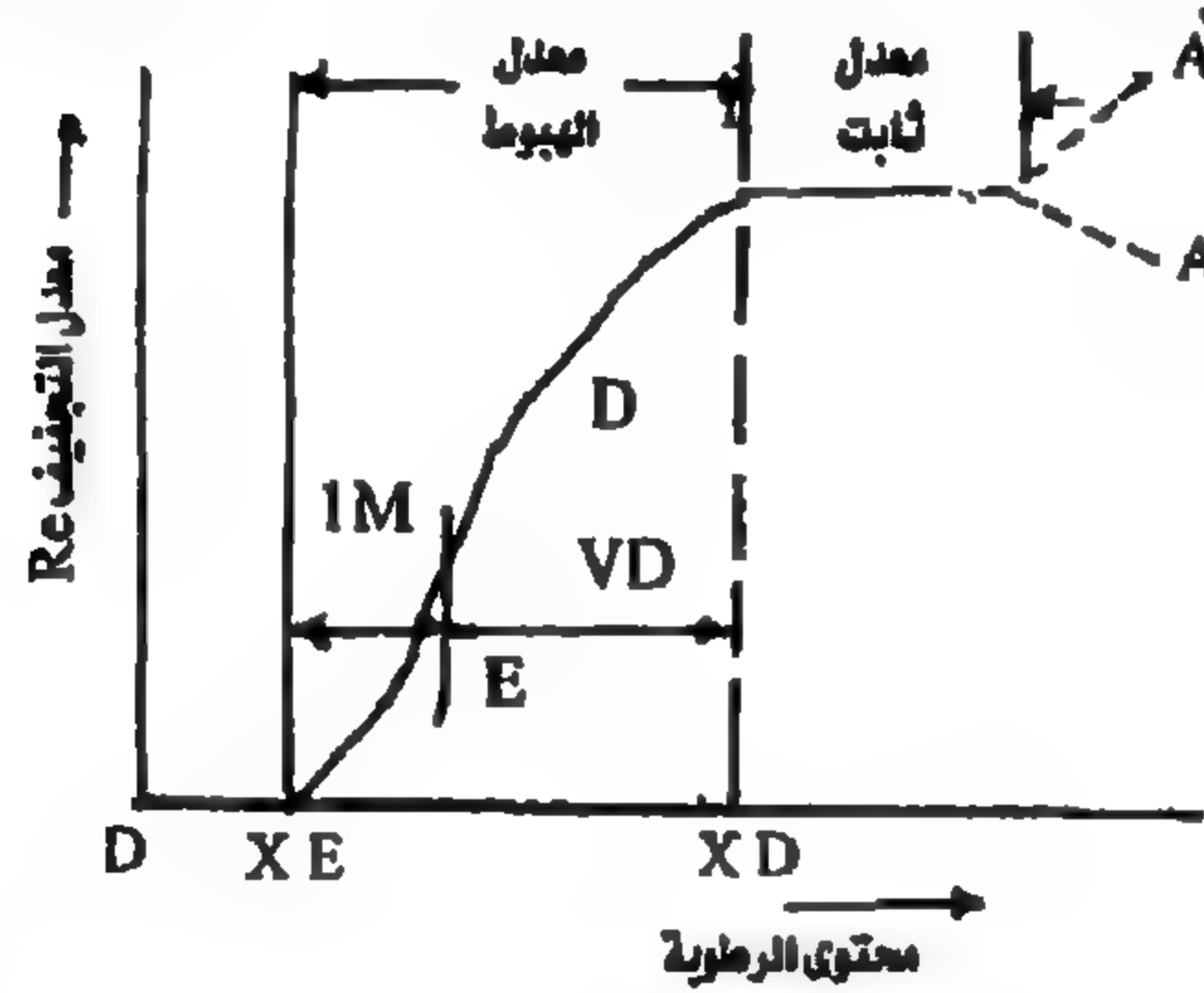
الرطوبة الحرة: Free Moisture

الرطوبة الحرة هي الرطوبة المحتوية في المادة بما يزيد عن اتزان الرطوبة - X_g (X حيث الرطوبة فقط يمكن تبخيرها شكل (5/6) العلاقات السابقة الموضحة في الشكل (5/6) للصلب ذو المحتوى من الرطوبة (X) المعرض للهواء ذو رطوبة نسبية (RH).

منحنى تجفيف مثالي موضح في الشكل (6/6) الشكل يبين بوضوح أنه فترتين أساسيتين للجفاف، وهما فترة المعدل الثابت وفترة المعدل المتناقص (Constant rate period and falling rate period)

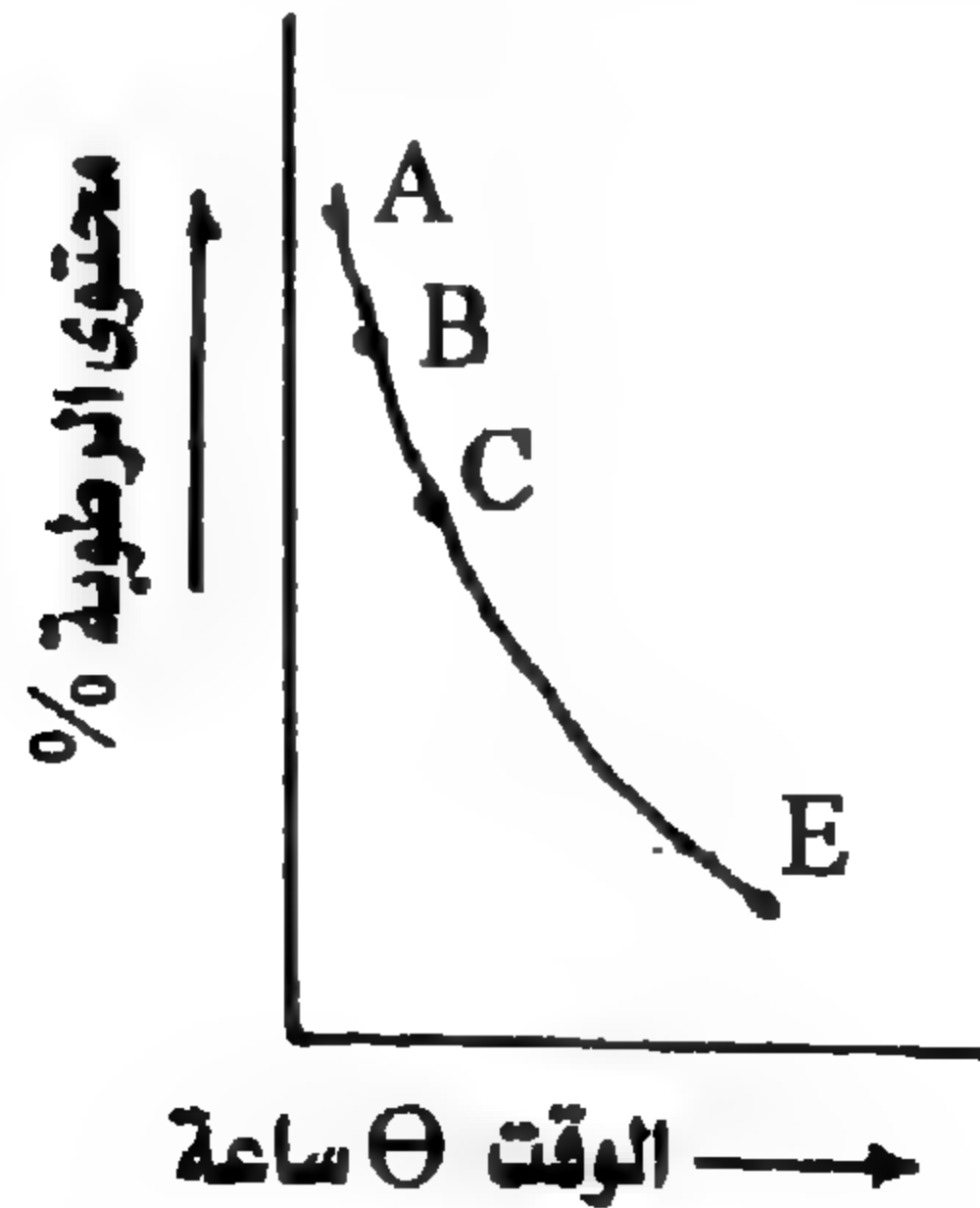


شكل (5/6) لمحتوى الرطوبة X المعرض للرطوبة النسبية RH

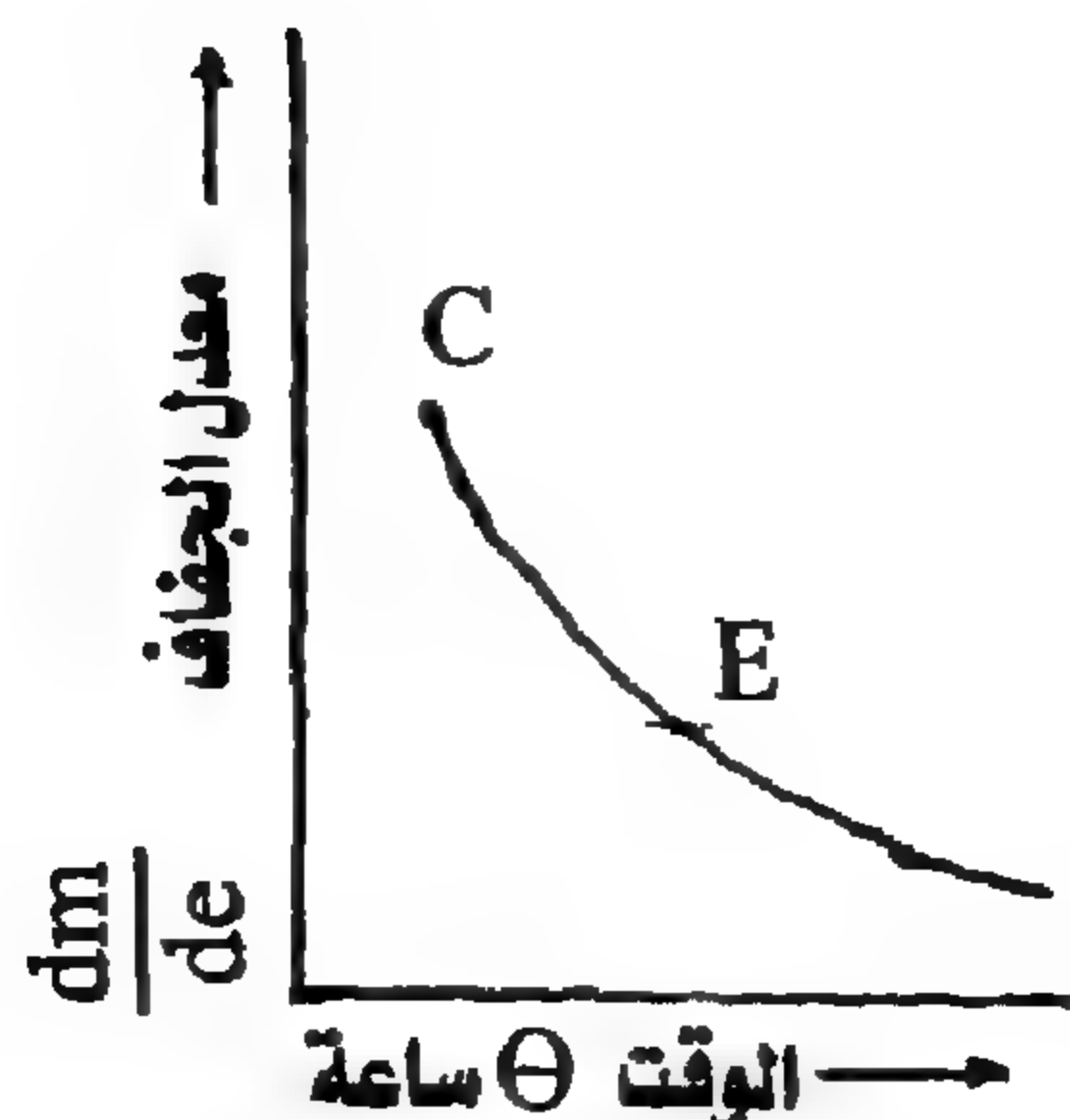


شكل (6/6) فترتين للجفاف وهما فترة المعدل الثابت ، والمعدل الهابط

توقع محتوى الرطوبة مقابل زمن التجفيف أو معدل التجفيف مقابل زمن التجفيف أو معدل التجفيف مقابل محتوى الرطوبة تعرف بمنحنيات التجفيف، الشكل (6/8-7/8)



شكل (7/6)



شكل (8/6)

فترة المعدل الثابت: (Constant rate period)

بعض المحاصيل مثل حبوب الحنطة (القمح .. الخ) عند المحتوى العالي من الرطوبة يتم تجفيفها تحت فترة المعدل الثابت على الفترة الأولية للتجفيف. فترة المعدل المتناقص تكون هي التالية. القمح يتم تجفيفه تحت فترة المعدل الثابت، عندما يزيد محتوى الرطوبة عن 72%. في فترة المعدل الثابت يكون معدل التبخير تحت أى من حالات الهواء المحددة ليس له علاقة بالمادة الصلبة ويكون بنفس معدل التبخير من سطح السائل الحر تحت نفس الظروف.

فترة المعدل المتناقص : (Falling Rate Peroid)

حبوب الحنطة يتم تجفيفها عادة بطريقة فترة المعدل المتناقص. فترة المعدل المتناقص تدخل بعد فترة معدل التجفيف الثابت وتقابل دورة التجفيف حيث كل السطح يكون رطباً والسطح الرطب يقل باستمرار، حتى نهاية هذه الفترة يكون السطح جافاً. السبب في التناقص في معدل التجفيف يرجع إلى عدم قدرة الرطوبة لتتحول من مركز الجسم إلى السطح عند معدل مقارن مع تبخير الرطوبة من سطحه إلى المجال المحيط. فترة المعدل المتناقص تنصف بزيادة درجة الحرارة في كل من عند السطح وخلال الصلب. بالإضافة إلى أن التغيرات في سرعة الهواء لها تأثير صغير مقارنة بفترة المعدل الثابت. فترة المعدل المتناقص للتجفيف يتم إحكامها إلى حد كبير بواسطة المنتج ولا تتوقف على حركة الرطوبة خلال المادة من المركز إلى السطح بواسطة انتشار السائل وإزالة الرطوبة من سطح المنتج.

المعدل المتناقص للتجفيف يمكن تقسيمه إلى مرحلتين وهما:

1- جفاف السطح الغير مشبع.

2- الجفاف حيث معدل انتشار الماء خلال المنتج يكون بطيئاً ويكون العامل الحاكم.

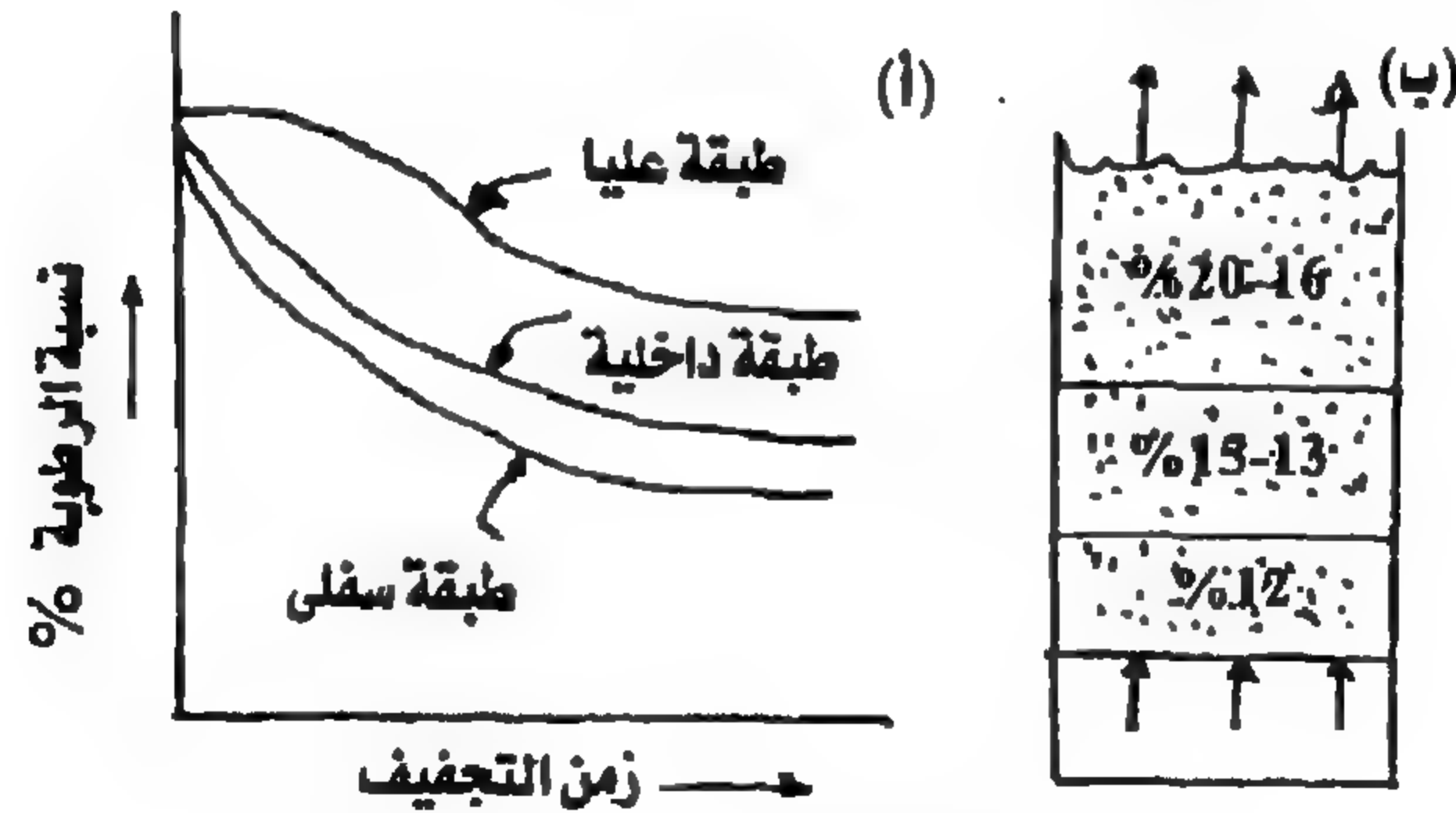
عملياً كل حبوب الحنطة يتم تجفيفها تحت فترة المعدل المتناقص إذا كان المحتوى من الرطوبة ليس عالياً جداً

حركة السائل يمكن أن تعود إلى :

- فروق تركيز الرطوبة.
- قوى السطح.
- انتشار الرطوبة في المسام.
- الاختلافات في ضغوط البخار.
- الاختلافات في درجات الحرارة.
- الاختلاف في الضغط الكلى.

تجفيف الطبقة العميقة: (Deep Bed Drying)

في تجفيف الطبقة العميقة ليست كل الحبوب في المجفف معرضة تماماً إلى نفس حالة تجفيف الهواء. ظروف تجفيف الهواء عند أى نقطة في كتلة الحبوب تتغير مع الوقت ومع عمق طبقة الحبوب. فوق وأعلى المعدل أو تدفق الهواء في وحدة الكتلة من الحبوب يكون صغيراً مقارنة بالطبقة الرقيقة لتجفيف الحبوب. حالة التجفيف في الطبقة العميقة موضح في الشكل (9/6).



شكل (9/6) منحنى التجفيف

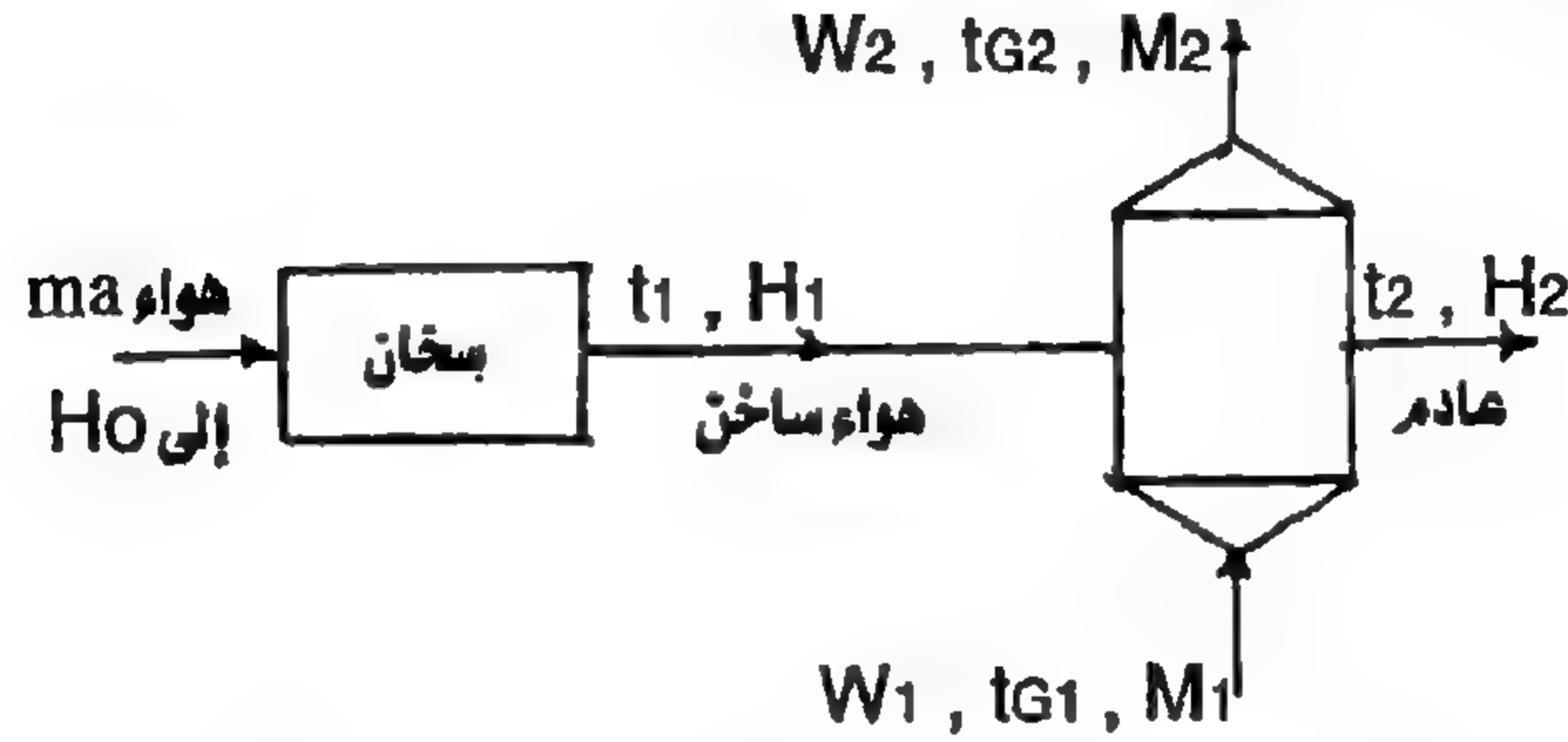
جفاف الحبوب في صندوق عميق يمكن اعتباره كمجموع للعديد من الطبقات الرقيقة. الرطوبة والجفاف للهواء الداخل والخارج من كل طبقة يتغير مع الوقت طبقاً لمرحلة الجفاف، الرطوبة المزالة من الطبقة الجافة حتى اتزان المحتوى من الرطوبة يتم الوصول إليه. القليل من الرطوبة يزال بالأحرى كمية صغيرة يمكن أن تضاف إلى

المنطقة الرطبة حتى وصول طبقة الجفاف إليها. حجم منطقة الجفاف يتغير مع درجة الحرارة والرطوبة للهواء الداخل، محتوى الحبوب من الرطوبة وسرعة حركة الهواء. الجفاف سوف يتوقف بمجرد أن يصبح المنتج في اتزان مع الهواء.

الميزان المادى والحرارى فى تجفيف الحبوب :

Mass and Heat balance in grain drying:

بالإشارة إلى الشكل رقم (10/6)



شكل (10/6) الميزان الحرارى والمادى

بالنسبة للميزان المادى: بفرض:

$$(1) \quad W = W_1 - W_2$$

حيث:

W = وزن الرطوبة المزالة

W_1 = وزن تدفق الحبوب عند المدخل كجرام/الساعة

W_2 = وزن تدفق الحبوب عند المخرج كجرام/الساعة

كمية المادة الجافة الداخلة إلى المجفف

$$= \frac{100 - m_1}{100} \times W_1 \text{ Kg / hr}$$

كمية المادة الجافة الخارجة من المجفف

$$= \frac{100 - m_2}{100} \times W_2 \text{ Kg / hr}$$

$$\frac{100 - m_1}{100} \times W_1 = \frac{100 - m_2}{100} \times W_2 \text{ ، ولكن}$$

$$(2) \quad W_2 = \frac{100 - m_1}{100 - m_2} \times W_1$$

مع وضع قيمة W_2 من المعادلة رقم (2) فى المعادلة رقم (1)

$$W = W_1 - W_1 \frac{100 - m_1}{100 - m_2}$$

$$= W_1 \frac{(m_1 - m_2)}{100 - m_2}$$

وبالمثل

$$W = W_2 \frac{(m_1 - m_2)}{100 - m_1}$$

إذا كان (f_d) هو معامل الجفاف، والذي يعرف كالاتى:

$$Fd = \frac{W}{W_1} \times 100 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

$$= \frac{m_1 - m_2}{100 - m_2} \times 100$$

الميزان الحرارى :

$$W_d \cdot C_{pg} \cdot (T_{G2} - T_{G1}) + W_d \cdot X_1 - C_{pw} + W_d (X_1 - X_2)L$$

$$= (ma \cdot 24 + 0.54 H_0) (t_1 - t_2)\theta$$

حيث:

W_d = وزن عظم المادة الجافة بالكيلوجرام

Ma = معدل الهواء كجرام/الساعة

θ = الوقت بالساعة

X_1, X_2 = محتوى الرطوبة (d-b)، عبرى

L = الحرارى الطاقية لبخار الماء

H_0 = الرطوبة المطلقة للهواء

t_{G1} = درجة حرارة دخول الحبوب

t_{G2} = درجة حرارة خروج الحبوب

C_{pg} = الحرارة النوعية للحبوب

C_{pw} = الحرارة النوعية للماء

معامل استخدام الحرارة: (Heat utilization factor)

طبقاً لأسلوب الانتقال الحرارى، فإنه يمكن طرق التجفيف إلى الآتى:

1- التجفيف بالتوصيل الحرارى (Coduction)

2- التجفيف بالحمل الحرارى (Convection)

3- التجفيف بالإشعاع الحرارى (Radiation)

فى التجفيف بالحمل الحرارى مجال التجفيف (الهواء الساخن) الذى يلتصق مع الحبوب الرطبة يستخدم لإمداد الحرارة وحمل الرطوبة التى تبخرت بعيداً وتنتقل الحرارة إلى الحبوب الرطبة أساساً بالحمل الحرارى. التجفيف بالحمل الحرارى يكون مقبولا فى تجفيف الحبوب. فيمكن تنفيذه إما باستمرار أو بطريقة مرحلية. المجففات المستمرة بالصوانى، المجففات المستمرة بالمسطحات، مجففات الانتقال الهوائى، المجففات الدوارة كلهم يقعوا تحت النظام المستمر. كذلك يمكن تقسيم التجفيف بالحمل الحرارى إلى:

1- التجفيف فى حالة التميؤ (Fluidized state)

2- التجفيف فى حالة تدفق الطبقة (Spouted bed)

3- التجفيف فى الحالة العادية.

أ- التجفيف بالهواء الطبيعى بدون تسخين.

ب- التجفيف الهوائى بدعم حرارى.

ج- التجفيف بالهواء الساخن.

التجفيف بالإشعاع الحرارى يكون مبنياً على امتصاص الطاقة الإشعاعية للشمس وتحويلها إلى طاقة حرارية بواسطة الحبوب. التجفيف الشمسى هو كمثال للتجفيف الإشعاعى.

تصميم مجفف الحشوة الشمسية: (Solar paddy dryer)

مجفف الحشوة الشمسية يتكون عادة من:

1- جامع شمسى لتسخين الهواء الجوى.

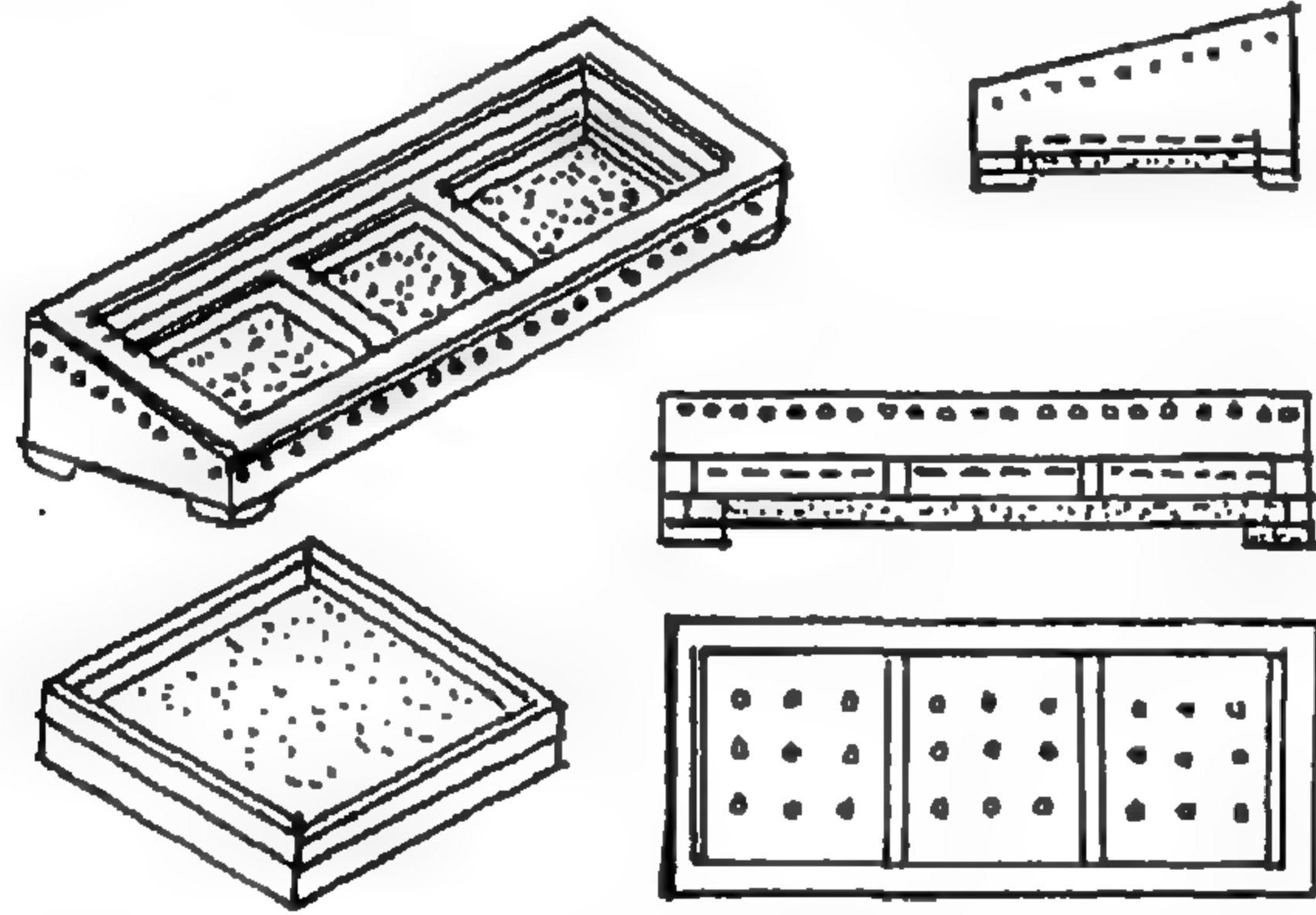
2- نافخ لسحب الهواء خلال الجامع الشمسى ودفع الهواء الساخن خلال المجفف.

3- المجفف لاحتواء العاود الرطب من الحبوب ودخول الهواء الساخن لتجفيف الحبوب.

المجمع الشمسي يمكن أن يكون بتصميمات مختلفة والمجفف يمكن إنشاؤه من تصميمات متعددة ومختلفة. اختيار المجمع الشمسي يعتمد على عوامل مختلفة مثل (1) التكلفة (2) نوع الاستخدام (ما إذا كان في الصناعة أو في الزراعة) (3) محمول أو ثابت. المجمعات الشمسية المحمولة تكون منقولة حيث تكون الأماكن في حاجة إليها. بالمثل اختيار المجفف يعتمد على نوع الحبوب، زمن التجفيف..الخ.

أنواع المجففات المستخدمة: Types of Dryers Inuse

المجففات الشمسية المستخدمة يمكن تقسيمها إلى نوعين: وهما النوع المباشر والنوع الغير مباشر. في النوع المباشر توجد غرفة المجفف الشمسي. نوع الغرفة من المجففات تم تطويره لتجفيف الخضروات والفاكهة. له غرفة مزودة بطبقة زجاجية علوية مزدوجة، التي خلالها يسقط ضوء الشمس مباشرة على المنتج، حيث يجف، بخار الماء المنطلق ينصرف خلال ثقوب في أجناب قمة الغرفة، بينما الهواء الطازج يدخل عند القاع. نموذج لمجفف الغرفة مع تفاصيله موضح في الشكل (11/6).



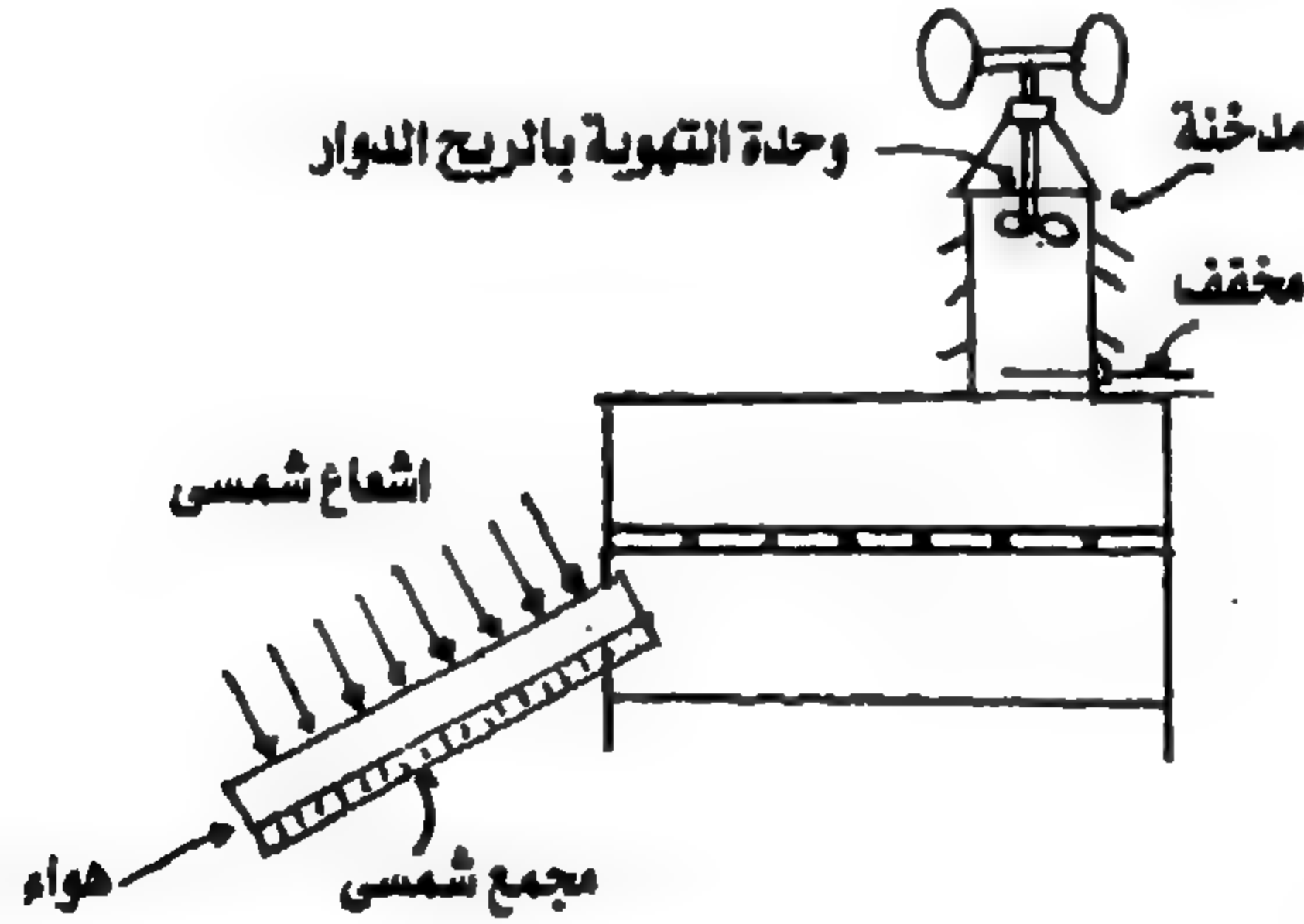
شكل (11/6) تفاصيل حجرة المجفف الشمسي

المكونات الأساسية هي:

- 1- سقف شفاف من طبقة من البلاستيك أو الزجاج.
 - 2- إطار عمل النموذج، ..الخ من الخشب أو المعدن للوحدات المحمولة، الطوب والصخر أو الخرسانة للمنشأ الثابت.
 - 3- عزل من نشارة الخشب، أو مصاصة القصب، أو شعيرات جوز الهند.
- الإشعاع الشمسي المار خلال الغطاء الشفاف يتم امتصاصه بواسطة المنتج ليحفظ الداخلي الأسود. هذا يزيد درجة حرارة الغرفة. عندما يهرب الهواء من المجفف خلال الثقوب في الحوائط ودخول الهواء الطازج إلى المجفف بالحمل الحراري الطبيعي، فإن تدفق الهواء الذي بدأ يزيل باستمرار الرطوبة من المنتج. التقدم في التجفيف للحاصلات

يستمر حتى الوصول إلى حالة الاتزان لمحتوى الرطوبة والتي من الطبيعي أن تكون أقل من محتوى الرطوبة للتخزين الأمن للحاصلات عند درجة حرارة التخزين. يتم الحصول في هذا المجفف على درجات حرارة عالية نسبياً في حدود 80°C . الوحدة تكون بسيطة ويمكن اعتبارها غير مكلفة باستخدام المواد المحلية المتاحة والعمالة المحلية. هذا النوع من المجففات يقلل الوقت الكلي للتجفيف بما يعادل من $2/1$ إلى $3/2$ مقارنة بتقنية التجفيف الشمسي الطبيعي ونوعية المنتجات المجففة تكون ذات مذاق ورائحة جيدة وكذلك الشكل العام يكون أفضل مقارنة بالتجفيف بالشمس الطبيعية.

التصميم المطور المعروف بالمجفف الشمسي برياح التهوية (Solar wind ventilator Drier) الموضح في الشكل (12/6) حيث فيه بالإضافة إلى التجفيف المباشر ثم تبني تدوير الهواء الساخن كذلك لزيادة معدل التجفيف. هذا النوع من المجفف استخدم نوع المجمع الحراري الشمسي ذو الشبك المنقب. وهو يتكون من لوح صلب قوى من الخشب الصناعي (المطحون)، معزول عند المؤخرة، مركب عليه لوح غطاء من الزجاج أو البلاستيك.



شكل (12/6) مجفف بتهوية الريح الشمسي

المجمع يتم تركيبه مع أقصى ميل للحصول على أقصى إشعاع شمسي طبقاً للمكان والفصل من السنة. الهواء المسحوب إلى الداخل خلال الطرف المفتوح للمجمع يتم تسخينه بواسطة اللوح الخلفي من الخشب المقوى الأسود. الأخير يتم تسخينه بامتصاص طاقة الإشعاع الشمسي التي تمر خلال الغطاء الشفاف. لزيادة تأثيرات المجمع، يمكن وضع شبكة بالطلاء الأسود في المنتصف ما بين اللوح بالطلاء الأسود وطبقة الزجاج. كلا من الشبكة واللوح الأسود سوف يمتص الطاقة الشمسية بما يوفر مساحة أكبر للانتقال الحراري وزيادة الحرارة التي يتم إمدادها للهواء المار. كفاءة المجمع يمثل هذا التصميم حققت كفاءة 75%.

مخرج الهواء الساخن للمجمع يكون متصلاً مع قاعدة غرفة المجمع. غرفة التجفيف نفسها يتم إمدادها بمسطحات شفافة على ثلاث أجناب عمودية والجانب العمودي الرابع (الجانب الخلفي) وجانب القاع الأفقي تصنع من ألواح الخشب الصناعي (الحبيبي) المطلّى باللون الأسود بالداخل لامتصاص الإشعاع الشمسي الحراري الساقط عليها والعزل الخارجي لخفض الفقد الحراري. فوق الغرفة، مهوى الريح الدوار (Rotary wind ventilator) يمكن وضعه على القمة على المدخنة (Stack) أو إطار المنشأ لاقتناص نسيم الهواء وكذلك لخلق حركة هواء خلال تأثير المدخنة.

الأنواع الرئيسية لأنواع أجهزة التهوية التي يتم تشغيلها بالريح المستخدمة هي:

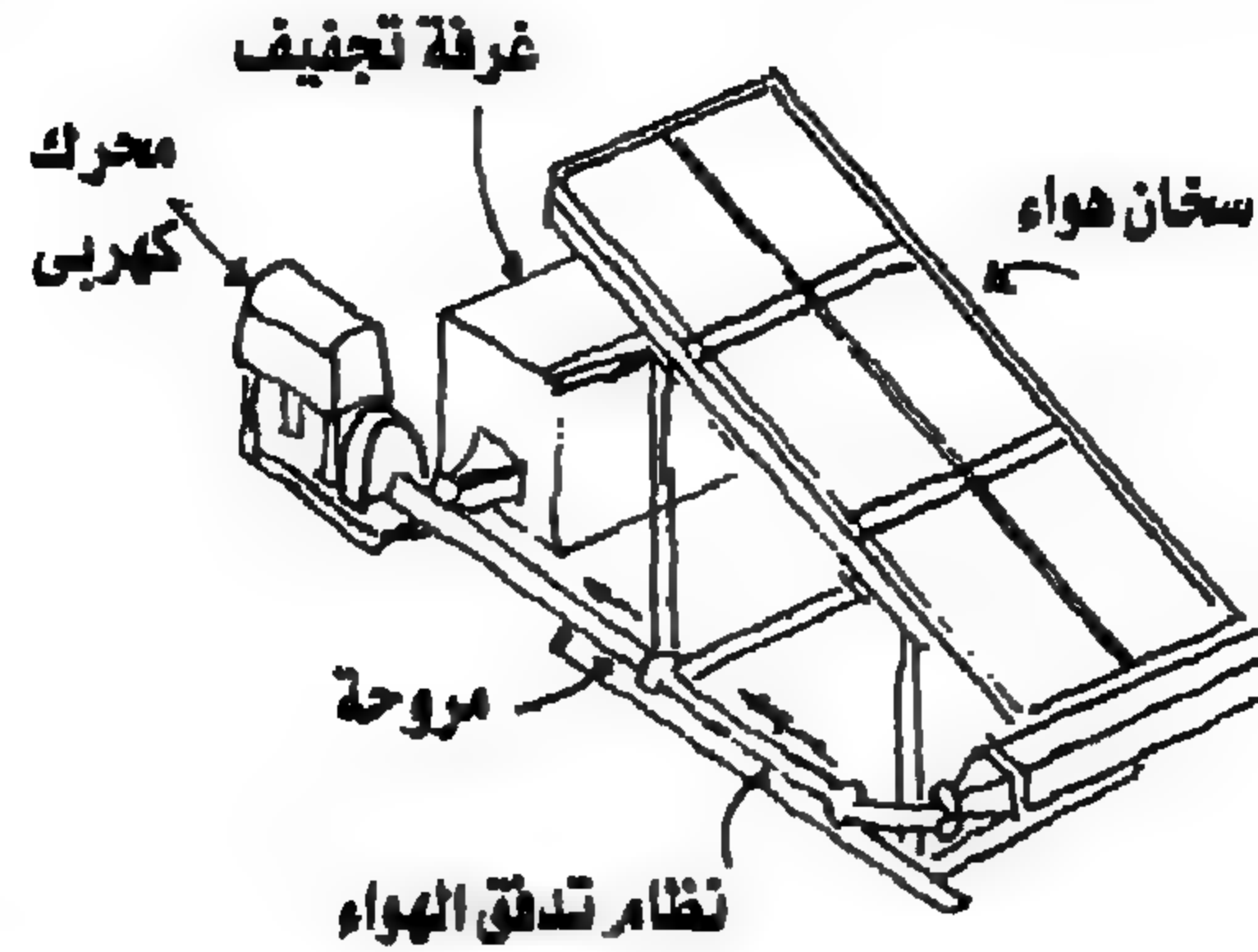
(1) الثابت و (2) الدوار. النوع الثابت ليس به أجزاء متحركة. وهو يعمل بأداء البائع الذي يسحب الهواء إلى داخل المدخنة من المساحة المهواة السفلية. اللفح الطبيعي للمدخنة يكتف أداء البائع. مثل تلك الأجهزة للتهوية يمكن تصميمها بسهولة للعمل بصرف النظر عن اتجاه اقتراب الريح. جهاز التهوية بالريح الدوار يتكون من ريشه دوار (Rotor vane) التي تدور في الريح، طاردة الهواء من مدخنة جهاز التهوية. الدوار يتم تركيبه على كرات تحميل العالقة لخفض مقاومة الاحتكاك. لأغراض التجفيف الشمسي عموماً يكون مطلوباً طاقة أعلا للتدفق لجهاز التهوية الدوار. مقطع مدخنة التهوية لكونه أقل من غرفة التجفيف، فإنه يلزم سرعة أعلا للهواء. هذا سيؤدي إلى انخفاض درجات حرارة التجفيف. إذا كان المطلوب درجات حرارة أعلا لتجفيف محاصيل معينة، يتم إنشاء مخمدات (Dampers) في مدخنة التهوية. وذلك لتنظيم تدفق الهواء، بذا إحكام درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجفف. عند تصميم مثل هذه النظم، يجب الحرص نحو وجود أدنى فقد باحتكاك الهواء في المدخنة وعند أجزاء الدخول والخروج لنظم مواسير مسارات الهواء.

أساساً كل المجففات الشمسية يمكن تقسيمها إلى (أ) مجففات الحمل الحراري الطبيعي (ب) المجففات بالحمل الحراري عنوه. مجففات الحمل الحراري الطبيعي لا تحتاج إلى طاقة ميكانيكية أو كهربائية لتشغيل المروحة. مجففات الحمل الحراري عنوة تحتاج إلى استخدام مروحة أو نافخ لضخ الهواء خلال المنتج. المروحة أو النافخ يستخدم لاستمرار المعدل المطلوب للتدفق خلال المنتج الجاري تجفيفه. توجد متغيرات كثيرة لمثل هذه المجففات.

المجفف الشمسي من النوع الغير مباشر : (Indirect type solar dryer)

سيتم مناقشة نوعين من التصميم الغير مباشر وهما:

لتجفيف كتلة من المحصول عالية الرطوبة في المجفف الشمسي المستخدم موضح في الشكل (13/6).



شكل (13/6) مجفف شمسي للأرز على الرطوبة

المكونات المختلفة للمجفف هي سخان الهواء، مواسير الهواء ونافخ للهواء وغرفة تجفيف الحبوب. مجمع اللوح المستوى المستخدم لتسخين الهواء له كفاءة 60% وارتفاع في درجة حرارة المجال المحيط 13°C . المحصول الحديث حصاده يمكن تجفيفه ويمكن أن يستغرق 7-8 ساعات ليصل المحتوى من الرطوبة من 30% غلى 16% بعد تجفيف الحبوب، فإنه يمكن اختبار نوعية الطحن. استخدام السخان الهوائي الشمسي لتجفيف الحبوب يبين أن ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار 10°C - 15 م يكون كافياً لخفض الرطوبة النسبية للهواء إلى 60% أو أقل والذي يكون مناسباً لتجفيف حبوب الحنطة.

إلى المحتوى الأمن من الرطوبة لتخزين 500 كجرام من المحصول يمكن تجفيفه من 30 إلى 40% من محتوى الرطوبة في فترة 6 ساعات في اليوم المشمس باستخدام تدفق الهواء بمعدل 4 متر مكعب/ الدقيقة، مع ارتفاع في درجة الحرارة من 10°C - 8 م.

المجفف الشمسي يتكون من سخان الهواء، نافخ للهواء، غرفة تجفيف، نظام توزيع الهواء ونظام تخزين الطاقة (غير موضح في الشكل). الهواء الذي يتم تسخينه يتم نفخه إلى غرفة التجفيف بواسطة النافخات (Blowers) من نوع الطرد المركزي لتداول كمية كبيرة من الهواء. نوع الدفعة الواحدة على دفعات (Batch type) أو نوع التدفق المستمر لغرفة التجفيف ينتج صناعياً الإشعاع الضروري لخفض الرطوبة. الهواء الساخن من المجمع يتم امتصاصه بواسطة النافخ خلال ماسورة الدخول حيث يدفع نحو غرفة التجفيف. نظام التسخين الإضافي لتعزيز متطلبات الطاقة يمكن تنظيمه. هذا النوع من النظم الإضافية ونظام التخزين الحراري لجمع الطاقة الزائدة خلال النهار، لمراعات العمليات الليلية.

الحرارة المطلوبة (Q) بالكيلو كالورى/الساعة

$$Q = V \times P \times Cp \times \Delta T$$

حيث :

V = معدل تدفق الهواء متر مكعب/الساعة

P = كثافة الهواء، كجرام/متر مكعب

Cp = الحرارة النوعية للهواء

ΔT = ارتفاع درجة الحرارة

تقدير المحتوى من الرطوبة لكل طن من كتلة الحاصلات (m) لتجفيف الحاصلات قبل الغليان، ينتج حجم من الهواء يلزم تداوله (V) من.

الكفاءة $\times V \times P \times Cp \times \Delta T = m \times \text{Latent Heat}$ (حرارة كامنة)

حجم الصخر اللازم (V') للتخزين الحرارى للطاقة الحرارية D هو:

$$V' = \frac{Q}{p'C'\Delta T'}$$

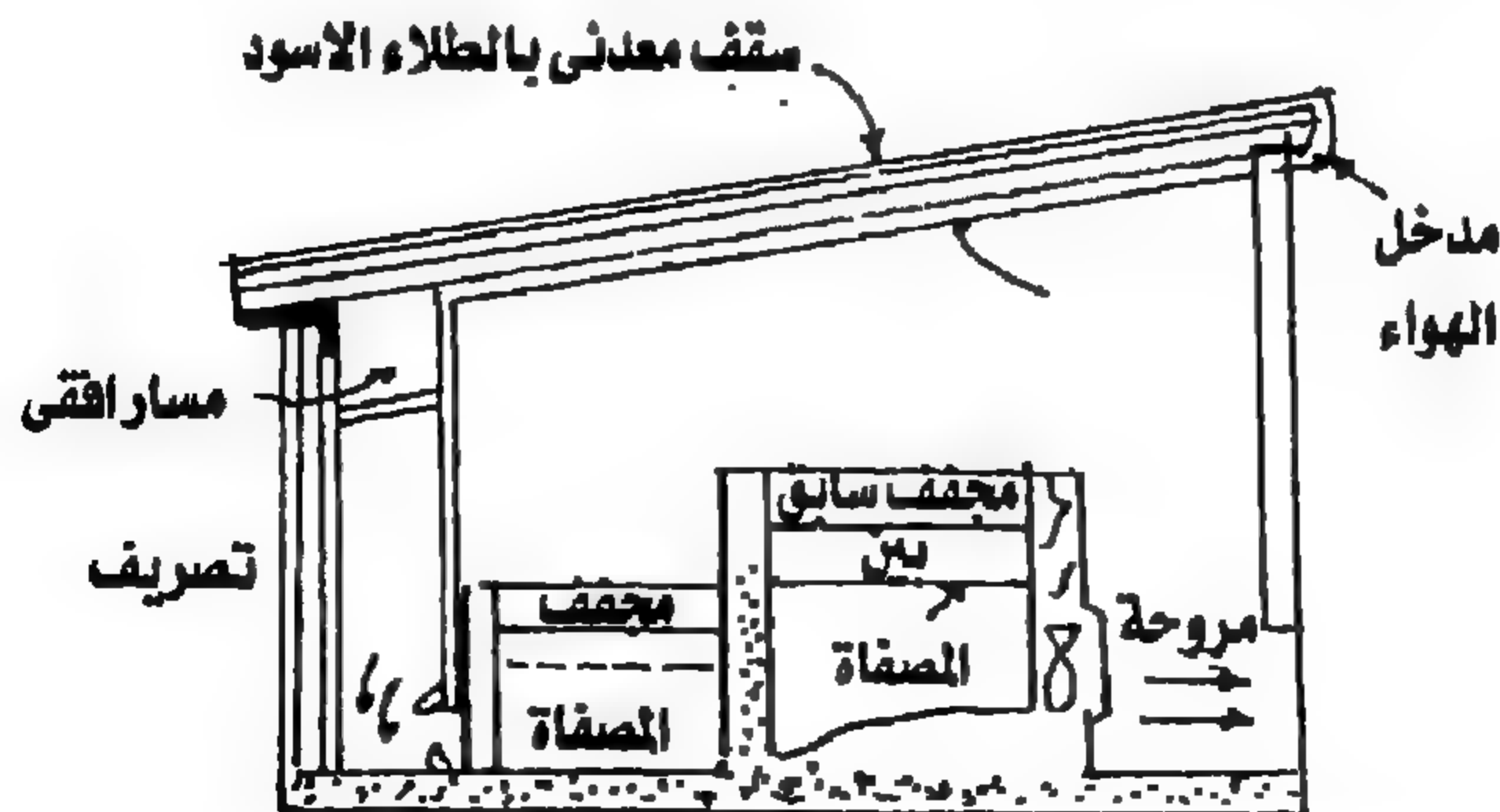
حيث :

P' = كثافة الصخر

Cp' = الحرارة النوعية للصخر

$\Delta T'$ = ارتفاع درجة الحرارة فى الصخر

نوع آخر من تصميم المجفف الشمسى الغير مباشر الموضح فى الشكل (14/6) والذي يصور استخدام مجمعات الحرارة الشمسية لتجفيف اللبن.. فى هذا المجفف الذى يحقق النوعية اللبن، حيث يقل المحتوى من الرطوبة من حوالى 55% إلى 12% (بالوزن). عملية التجفيف هذه تتم عادة فى يوم تقريباً حيث تتطلب من 8 - 24 ساعة.



شكل (14/6) مجفف اللبن بالهواء الساخن بالتسخين الشمسى الغير مباشر

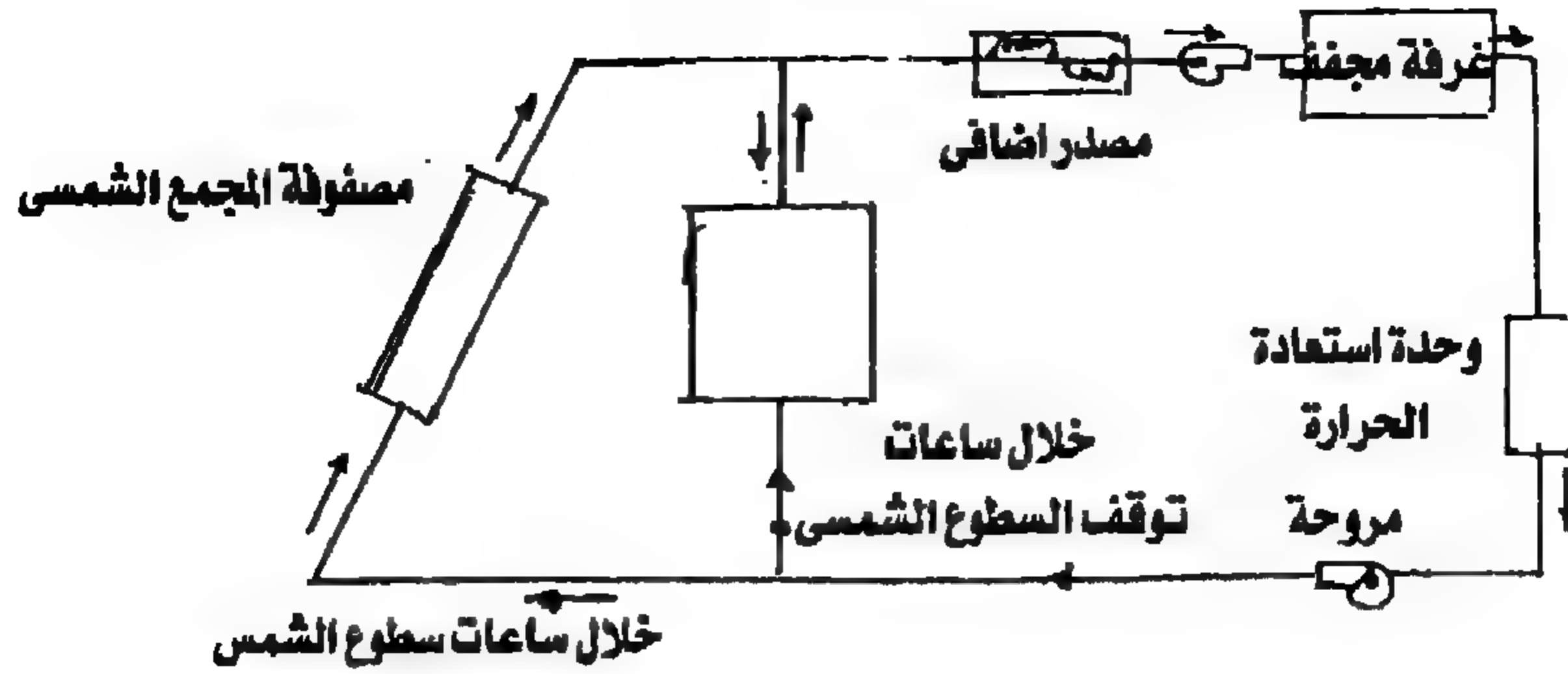
المجمعات الطافية الشمسية

فى أحد التصميمات لمجمعات الحرارة الشمسية يكون إنشاؤه كجزء من سقف وحدة تصنيع البن. بالإضافة، يتم توفير سخانات كهربية أو بالوقود السائل لتوفير الهواء الساخن، لإمكان التجفيف خلال فترات السطوع الضعيف للشمس. السقف يتم إنشاؤه بممر للهواء بعمق 3 بوصة بين المسطح المعدنى للسقف وسطح القاع. السطح الخارجى يتم طلاؤه بطلاء الاسفلت الأسود. السقف يكون له ميل نحو الجنوب. المساحة المؤثرة للمجمع الشمسى هى 600 قدم مربع.

عملية تجفيف البن تتم على مرحلتين - التسخين المسبق والتجفيف. فى المرحلة الأولى يوجد المجفف المسبق (Pre-drier)، المكون من صندوق ضحل 5.5'، 6.5'، حيث القاع مصنوع من شبك السلك المحمول بواسطة أسقف صلب أو معدن ممدد. متصل بغرفة الهواء أسفل الصندوق يوجد مروحة ذات التدفق المحورى بقطر 18 بوصة تعمل بواسطة محرك قدرته 1.5 حصان. حبوب البن المغسولة يتم إدخالها أولاً فى المجفف المسبق. المرحلة الأخيرة للتجفيف تتم كذلك فى صندوق ضحل 5.5' x 6.5'. فى هذا المجفف، ثم استخدام محرك بقوة 1.5 حصان لتشغيل مروحة بقطر 18 بوصة ذات التدفق المحورى لمواجهة تصاعد الهواء الساخن إلى أعلا خلال طبقة الحبوب. يتم إنشاء أربع من شريط الزعنفه الكهربية له طاقة حتى 1300 وات فى ماسورة تدفق الهواء فوق التيار بالنسبة للمروحة. لذلك فإن الهواء كان يتم تسخينه مع مروره خلال سقف المجمع الشمسى وحرارة إضافية كان يتم إمدادها بواسطة عناصر التسخين الكهربى.

المجفف المسبق يحتوى بن ذو غلاف جاف خلال 2 - 3 ساعة. كذلك المجفف المسبق يقوم بعمل التخزين المؤقت، حيث البن الرطب يمكن أن يظل مع التهوية المتقطعة حتى يكون المجفف جاهزاً للإمتلاء. الهواء المستخدم فى المجفف المسبق لا يتم تسخينه.

من وجهة النظر الصناعية للتجفيف، فإنه يمكن استخدام المصدر التقليدى للطاقة مع سخان الهواء الشمسى لمدة 24 ساعة عمل. مخطط أحد مثل هذه الوحدات موضح فى الشكل (15/6).



شكل (15/6) مخطط لطريق التجفيف الغير مباشر

المكون الاساسى لهذه الوحدة (1) سخان الهواء الشمسى (2) النافخ (3) وحدة الطاقة الإضافية (4) وحدة التخزين.

وحدة التخزين يتم توفيرها للاستفادة من الطاقة الشمسية الزائدة خلال ذروة ساعات الإشعاع وتوصيلها إلى الهواء العادى خلال انخفاض الإشعاع أو عدم وجوده. نظام التخزين المستخدم عادة هو طبقة من الصخر للتخزين. استعادة الحرارة يمكن كذلك أن يتم تضمينها.

يوجد العديد من استخدامات المجفف الشمسى مثل تجفيف الخشب، تجفيف المياه المحتوية على مواد معدنية، كذلك يمكن استخدامه فى الصناعة كما فى حالة صناعة منتجات الألبان.

مخطط مقياس الرطوبة واستخدامه فى تجفيف الحاصلات :

Psychrometric chart and it's use in crop drying:

معظم الحاصلات الزراعية يتم تخزينها قبل الاستخدام حيث يلزم تجفيفها، وذلك تجنباً للحفاظ عليها من الحشرات والفطريات التى تعيش فى الظروف الرطبة، بما يتلف تلك الحاصلات، مثال لذلك، القمح، الأرز، البن، الخشب. تتناول تجفيف الحبوب والحاصلات الأخرى تكون مشابهة. كل عمليات تجفيف الحاصلات تشمل انتقال الماء من الحاصلات إلى الجو المحيط، لذلك فإنه يلزم أولاً كمية المياه التى يمكن أن ينقلها الهواء فى شكل بخار ماء.

بخار الماء والهواء:

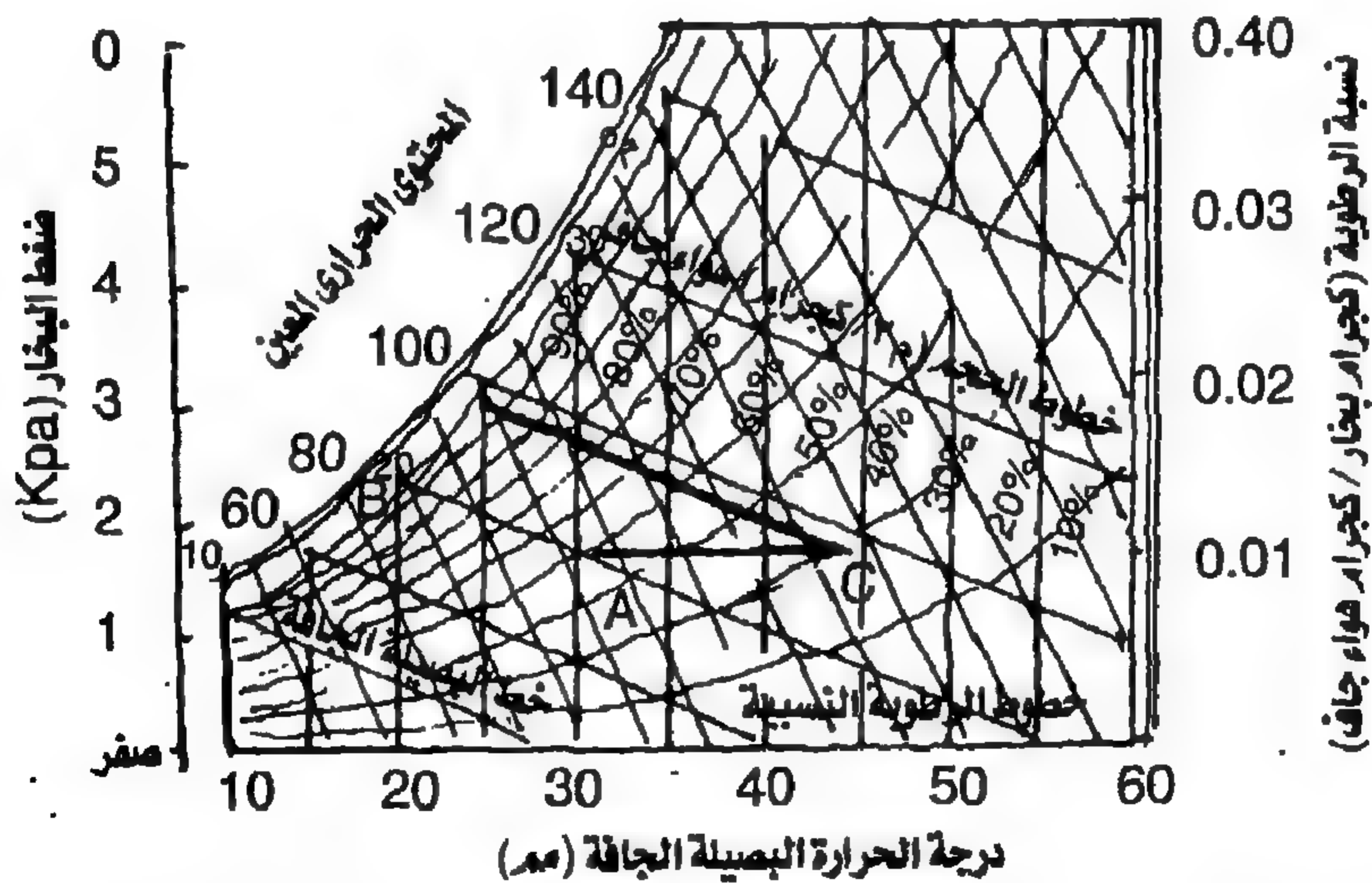
الرطوبة المطلقة (H_0) أو تركيز البخار هو كتلة بخار الماء فى متر مكعب واحد من الهواء. عند درجة حرارة معينة (T)، عند محاولة زيادة الرطوبة المطلقة أو تركيز البخار، إلى ما بعد التشبع (كما فى حالة نفخ البخار).

المجمعات الطافية الشمسية

فإن سائل الماء يتكثف. تتوقف رطوبة التشبع (H_s) إلى حد كبير على درجة الحرارة. توقيع رطوبة التشبع (أو مقياس آخر له علاقة بالرطوبة) مقابل (T) يسمى مخطط مقياس الرطوبة (Psychrometry). نسبة الرطوبة المطلقة ورطوبة التشبع (H_s/H_0) يسمى الرطوبة النسبية (RH)، وتتراوح من صفر % (حيث الهواء تام الجفاف) إلى 100% (حيث الهواء المشبع). مقاييس أخرى كثيرة للرطوبة يتم استخدامها.

التجفيف هو ظاهرة معقدة. يتوقف عدد كبير من المعايير أكثر ثمانية هامة للخواص الحرارية الحركية للهواء الرطب هي:

(1) ضغط البخار (2) الرطوبة النسبية. (3) نسبة الرطوبة. (4) درجة حرارة البصيلة الجافة. (5) درجة حرارة نقطة الندى. (6) درجة حرارة البصيلة الرطبة (7) المحتوى الحراري ($Enthalpy$). (8) الحجم النوعي. العلاقات التجريبية متاحة والتي يمكن استخدامها لحساب كل من المعايير السابق ذكرها. وهذه عملية شاقة. المخططات الخاصة المعروفة بمخططات مقياس الرطوبة متاحة حالياً. تلك المخططات تبين الخواص الحرارية الحركية (Thermodynamic) للهواء الرطب. أحد تلك المخططات موضح في الشكل (16/6).



شكل (16/6) مخطط لقياس الرطوبة للضغط عند 101.35 كيلوبار مع عملية التجفيف الموضحة

المجمعات الطاقية الشمسية

فى حالة تغير احد المعايير فإنه يمكن ملاحظة تأثيره على المعايير الأخرى من هذا المخطط. المعيار الأكثر أهمية لعملية التجفيف هو ضغط التشبع الذى يعتمد على درجة الحرارة. عملية التجفيف يمكن شرحها بمساعدة مخططات قياس الرطوبة كالتى:

بفرض أن الهواء ليس مشبعاً (ولتكن درجة حرارة البصيلة الجافة 30°C ودرجة حرارة البصيلة الرطبة 20°C). وسمح له بالمرور فوق المادة. بعد ذلك لا يتم إمداد حرارة خارجية للنظام. الحرارة الملموسة للهواء والمادة يتبادلا للحرارة الكامنة لتبخير الماء. نقطة البداية على المخطط ستكون هي النقطة (a) عند 30°C مساوية لدرجة حرارة البصيلة الجافة. بالنظر إلى المخطط خلال هذه العملية نسبة الرطوبة (كجرام بخار على كجرام هواء جاف) قد تغيرت من 0.0115 إلى 0.0140 أى حوالى 0.0036 كجرام من البخار لكل كجرام من الهواء الجاف يتم امتصاصه خلال هذه العملية. الآن عند استخدام الطاقة الشمسية فإن الهواء يتم تسخينه إلى 45°C مع رطوبة نسبية مقدارها 17% ويمر فوق مادة التجفيف. أثناء عملية التجفيف، يتم تبريد هذا الهواء بدون التبادل الحرارى على طول خط البصيلة الرطبة 24°C . النسبة النهائية للرطوبة التى تقابل النقطة (D) هي 0.0198 بينما نسبة الرطوبة الأولية هي 0.0114. لذلك الرطوبة التى تم تبخيرها بالهواء الساخن ستكون 0.0075 كجرام من البخار لكل كجرام من الهواء الجاف والذى غالباً يكون ضعف الماء الذى تبخر مقارنة بحالة عدم تسخين الهواء.

جدول (1/6) المحتوى الأولي والمحتوى النهائى من الرطوبة لمختلف المحاصيل

مسلسل	الحاصلات /حبوب/ فاكهة/ خضروات	المحتوى الأولي من الرطوبة %	المحتوى النهائى من الرطوبة %
1	الحنطة والحبوب	30 - 13	12-10
2	بذور الزيت	14-12	9-7
3	الخضروات	80-60	12-10
4	الفاكهة	90-60	12-10
5	أوراق الشاي	50	8
6	مصاصة قصب السكر	60-40	8
7	حببيات البن	50	12

يجب ملاحظة أن المحتوى من الرطوبة للمنتج فى وقت الحصاد له أهمية كبيرة من وجهة نظر التجفيف حيث أن اتران المحتوى من الرطوبة يعتبر معيار هام من وجهة

المجمعات الطافية الشمسية

نظر التخزين. الجدول السابق يبين المحتوى الأولى من الرطوبة والمحتوى النهائى من الرطوبة الذى يوصى به لمختلف المواد الغذائية لفترة طويلة وللتخزين الآمن. جفاف مادة الغذاء هو أولاً عملية ذات درجة حرارة منخفضة حيث درجات الحرارة العالية من المحتمل أن ينتج عنها إتلاف المادة الغذائية ومذاق الغذاء. القيم الموصى بها لدرجات حرارة التجفيف لمختلف أنواع المواد الغذائية موضحة فى الجدول التالى. الدراسة لدرجات الحرارة هذه يكشف لماذا أن الطاقة الشمسية تعتبر أكبر مصدر مناسب للطاقة فى عملية التجفيف. من المعروف أن تجميع الطاقة الشمسية يكون عند أقصى كفاءة عند درجة حرارة حتى 70°م . بينما استخدام الوقود التقليدى فى مجالات درجة الحرارة المنخفضة هو الطريقة الأكثر كفاءة لاستخدام مصادر الطاقة ذات الدرجة العالية تلك. ثم تطوير أنواع مختلفة من المجففات فى عدد من المعاهد للاستخدام خاصة للحاصلات الزراعية. تلك المجففات استخدمت فى تجفيف الحبوب، مختلف أنواع الفاكهة والعديد من الخضروات. طاقة تلك المجففات تتراوح من عدد قليل من الكيلو جرامات فى اليوم إلى عدد قليل من الأطنان فى اليوم.

جدول (2/16) أفضل درجة حرارة لتجفيف الفاكهة والخضروات

الخضروات	أفضل درجة حرارة $^{\circ}\text{م}$	الفاكهة	أفضل درجة حرارة $^{\circ}\text{م}$
كرنب	65 - 60	تفاح	65-60
قرع عسلى	70 - 65	مشمش	60 - 55
جزر	70 - 65	موز	55 - 50
قرنبيط	65 - 60	عنب	85 - 65
ثوم	60 - 55	خوخ	70 - 60
بامية	70 - 65	كمثرى	65 - 60
بصل	65 - 60	رمان	60 - 50
بسلة	65- 60	بلح	80 - 60
بطاطس	65 - 60	* لأغراض زراعة الحبوب يجب عدم الزيادة عن 45°م ، * زهور العطور 45°م	
سبانخ	70 - 65		
لفت	55 - 50		
فلفل	45 - 40		
تبغ	35 - 30		
شاي	35 - 30		

المجففات للحاصلات الزراعية يمكن كذلك أن تكون من نوع التدفق عنوة (Forced flow) والذي يشمل استخدام نافخ الهواء لدفع الهواء خلال المجمعات (Collectors) وغرفة التجفيف ومن نوع الحمل الحرارى الطبيعى حيث لا يتم استهلاك طاقة كهربائية. من الواضح أن النوع الأول من المجففات يمكن استخدامه للمخرجات الكبيرة بينما الآخر يكون استخدامه فى الأماكن البعيدة، حيث يمكن تجفيف كميات صغيرة من الفاكهة والخضروات. مجففات التدفق عنوة تستخدم مجمعات اللوح المستوى لجمع الطاقة الشمسية وتسخين الهواء بواسطة الطاقة الشمسية التى يتم تجميعها. يمكن رفع درجة حرارة الهواء الساخن إلى 60 - 70° م طبقاً لمتطلبات المنتج المطلوب تجفيفه. تلك المجمعات يمكن تركيبها على أى مواجهة جنوبية، بدون إعاقة نحو الشمس أو السقف الغير مستخدم فى أغراض أخرى. الأسقف التى تحتوى المجمعات تم اقتراحها ومحاولتها فى عدد من الأماكن. هذا عمل على خفض تكاليف الإنشاء للنظم الشمسية.

محتوى المحاصيل من المياه : (Water content of crop)

نسبة المحتوى من الرطوبة (على أساس الجفاف) لعينة من الحبوب تعرف بالآتى:

$$m = \frac{W - W_d}{W_d} = \frac{W_m}{W_d}$$

حيث :

W = الكتلة الكلية للعينة كما تكون

W_d = كتلة المادة الجافة فى العينة

سوف نستخدم هذا التعريف لمحتوى الرطوبة (على أساس الوزن الجاف) والذي هو معيار الحرج (Forestry).

فى مساحات أخرى من الزراعة، محتوى الرطوبة على أساس "الوزن الرطب" يمكن استخدامه كذلك

$$m_1 = \frac{W_m}{Mm + W_d} = \frac{m}{m + 1}$$

تعيين (W_d) يتطلب الحرص ويتم قياسه فى المعمل طبقاً للطرق القياسية للقياس وذلك لكل نوع من الحبوب أو الحاصلات. (بالنسبة للخشب (W_d) يمكن تعيينها بتجفيف العينة فى فرن عند 105° م لمدة 24 ساعة). درجة الحرارة ووقت التجفيف "كتلة جفاف بالفرن" محدودة ذلك ليتم تفادى حدوث أى تغيرات كيميائية. بعض من

المياه المرتبطة قد تظل بعد هذه العملية. كذلك من المهم التحقق من أن تلك درجات الحرارة المحدودة لتجفيف الحاصلات تكون للتخزين لذلك، فإن المنتج لا يتشقق ويسمح بعدوانية البكتيريا. في حالة الترك لمدة طويلة كافية، فإن رطوبة الحبة سوف تفقد المياه في المجال المحيط حتى وصول الحبوب إلى حالة الاتزان مع محتوى الرطوبة (me). (me) تتوقف على الحاصلات وخصوصاً درجة الحرارة والرطوبة للهواء المحيط. بالنسبة للأرز في الهواء عند 30°م ورطوبة نسبية 80% (المساحة نمو الأرز النموذجية) $me = 0.16$.

لاحظ أن عملية التجفيف ليست متجانسة. كثيراً من الرطوبة الموجودة في المحصول تكون في شكل "الماء الحر" والذي يكون عالق بطريقة مفككة في ثقوب الخلية، ولذلك يفقد سريعاً بعد الحصاد. الماء المتبقى (عادة 30 - 40%) يكون مرتبطاً بجدار الخلية بأربطة الهيدروجين (Hydrogen Bonds)، ولذلك يصعب إزالته. من المهم أن تجفف الحبوب بسرعة في خلال أيام قليلة من الحصاد، ذلك لأن الفطر (Fungi) ينمو جيداً في حالة الحبوب الرطبة أو الرطبة جزئياً.

ميزان الطاقة ودرجة حرارة التجفيف:

Energy Balance and temperature for drying:

في حالة مرور الهواء الغير مشبع فوق مادة رطبة، فإن الهواء سوف يأخذ الماء من المادة، كما سبق توضيحه في الفصل السابق. هذا الماء يتم تبخيره، والحرارة لعمل هذا تأتي من الهواء ومن المادة. لذلك فإن الهواء يبرد. تحديداً، في حالة تبريد حجم (V) من الهواء من (T1) إلى (T2) في وجود كتلة متبخرة من الماء (MW)، عندئذ :

$$Mw \times Lv = PCpV (T1 - T2)$$

حيث :

Lv = الحرارة الكامنة لتبخير الماء

Cp, P = الكثافة والحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت وعند درجة حرارة متوسطة، للاختلافات المتوسطة في درجة الحرارة.

المشاكل الأساسية في تصميم مجفف الحاصلات لذلك فهو لتعيين (V) (T1) مناسبة لإزالة كمية محدودة من الماء (MW). درجة الحرارة (T1) يجب أن لا تكون مرتفعة جداً، ذلك لأن هذا سوف يسبب تفتت الحبوب وبذلك من البكتيريا والطفيليات من الدخول.

جدول (3/6) بخار الماء فى الهواء

كتلة الماء فى 1م ³ من الهواء (الرطوبة المطلقة) جرام/م ³ (Ho)	ضغط البخار المشبع Pv (KN/m ²)	
4.8	0.61	صفر
9.4	1.23	10
17.3	2.34	20
20.3	3.24	30
51.2	7.38	40
82.9	12.34	50
130.0	19.9	60
197.0	31.2	70
219.0	47.4	80
-	70.1	90
-	101.3	100

الحسابات الصحيحة جداً سوف تسمح بالتغير فى الحرارة الكامنة، الكثافة، والرطوبة للهواء الخارج، ولكن النتيجة ستكون هى نفسها، التجفيف بالمعدل الكبير يتطلب مرور أحجام ضخمة من الهواء الساخن الجاف. التجفيف بالحمل الحرارى عنوة (Forced convection) موضوع معقد، والتجفيف بدون تدفق الهواء عنوة أكثر تعقيداً وخاصة إذا كان وقت التجفيف ودرجات الحرارة محددين.

مثال :

تم حصاد الأرز عند محتوى من الرطوبة = 0.28. الظروف المحيطة هى 30°م، 80% رطوبة نسبية، التى عندها (me) (أى اتران المحتوى من الرطوبة) = 0.16 للأرز.

إذا كان عند 30°م، 80% رطوبة نسبية كان كتلة الماء (H₂O) فى 1 متر مكعب من الهواء المشبع = 30.3 جرام/المتر المكعب (من الجدول السابق) أحسب كمية الهواء عند 45°م التى تكون مطلوبة لتجفيف 1000 كيلو جرام من الأرز.

المعطيات :

$$2.4 \text{ MI/Kg at } 30^{\circ}\text{C} = L_v$$

$$1.15 \text{ KJ/m}^3, = P$$

$$1.0 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} = C_p$$

الحل :

نسبة المحتوى من الرطوبة (على أساس الجفاف) (m) لعينة من الحبوب كالآتي:

$$m = \frac{W_m}{W_d} \times 100$$

$$m = \frac{W - W_d}{W_d} = \frac{W_m}{W_d}$$

$$\frac{W_m}{W_d} = m + 1$$

حيث :

W = الكتلة الكلية للعينة "كما هي"

W_d = كتلة المادة الجافة في العينة

$$W/W_d = 0.28 + 1 = 1.28 \text{ عندئذ}$$

المعطى $W = 1000$ كجرام

$$W_d = \frac{1000}{1.28} = 7.8 \text{ Kg}$$

كتلة الماء (μW) اللازم تبخيرها تكون لذلك كالآتي:

$$M_w = W_d (m - m_e) = 780 (0.28 - 0.16) = 94 \text{ Kg}$$

بالنسبة للهواء الرطب الذي يترك المجفف وجدت درجة حرارة الخروج من جدول

بيانات الرطوبة كالآتي:

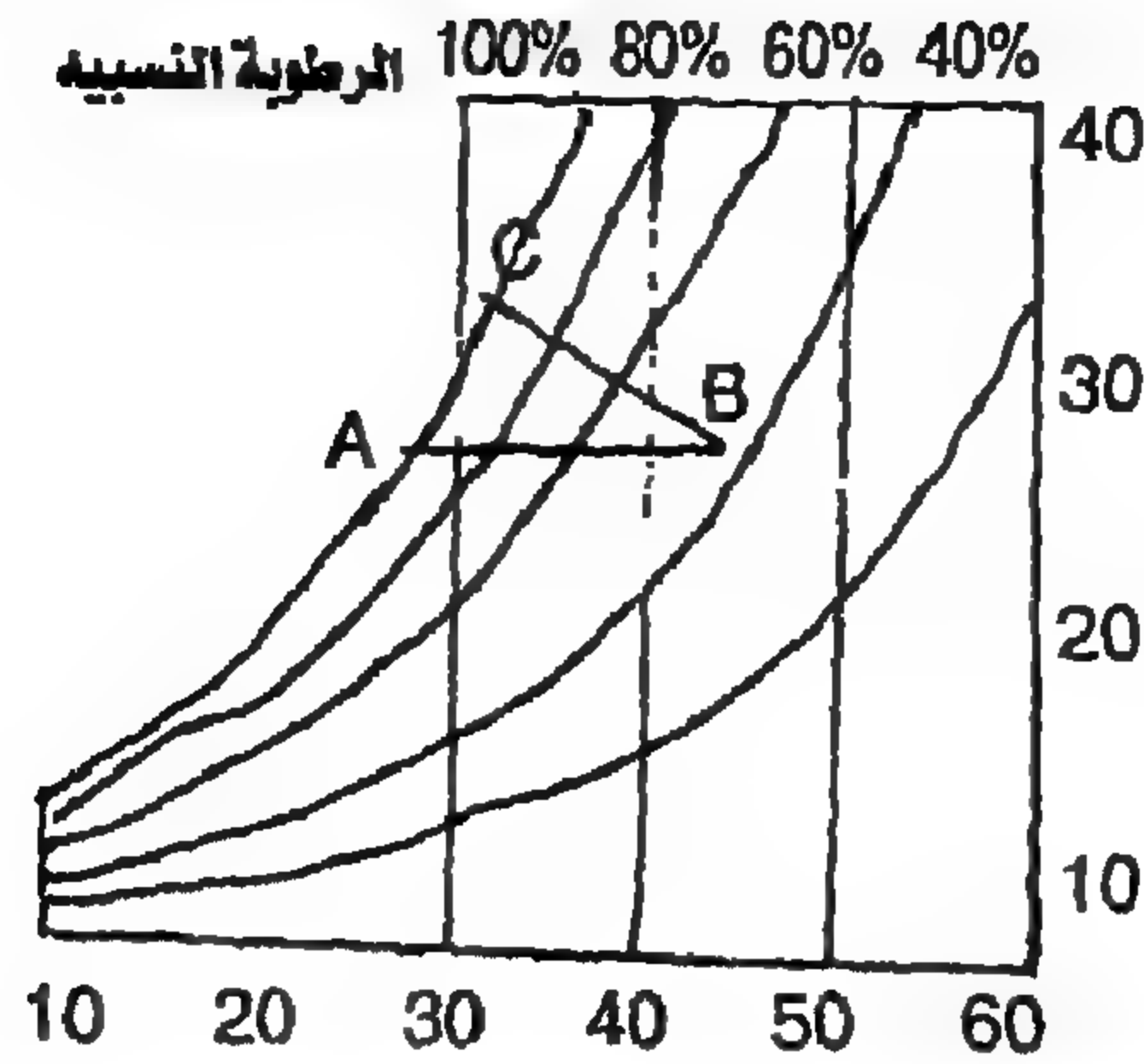
كتلة بخار الماء	=	W_w	(الرطوبة النسبية RH)
كتلة بخار الماء المشبع		W_s	

الرطوبة المطلقة هي كمية الماء الحقيقية الموجودة في 1 متر مكعب من الهواء

$$\therefore \text{الرطوبة المطلقة} = 30.3 \times 0.8 = 24.2 \text{ جرام/م}^3$$

$$= 24.2 \text{ جرام/م}^3$$

النقطة (A) على الشكل (17/6)



شكل (17/6) مخطط قياس الرطوبة للضغط القياسي 101.5 كيلو نيوتن/متر مربع

في حالة إهمال التغير الصغير في الكثافة، فإن هذا سوف يكون كذلك رطوبة مطلقة لنفس الهواء بعد التسخين 45°C (النقطة B). الرطوبة النسبية ستكون بطبيعة الحال منخفضة. بعد المرور خلال الأرز، فإن الهواء الخارج سوف يصير رطباً. إذا كانت الظروف طبقاً للشكل (17/6) مخطط قياس الرطوبة، فإن الهواء الخارج عند (C)، ودرجة حرارته سوف تكون حوالي 30°C .

$$M_w L_v = PC_p V (T_1 - T_2) \text{ من العلاقة}$$

$$V = \frac{M_w L_v}{PC_p (T_1 - T_2)} \text{ نحصل على}$$

$$\text{حيث } M_w = 94 \text{ كجرام}$$

$$P \text{ عند } 30^{\circ}\text{C} = 1.15 \text{ كجرام/م}^3$$

$$1.0 \text{ KJ/Kg/}^{\circ}\text{C} = C_p$$

$$45^{\circ}\text{C} = T_2$$

$$30^{\circ}\text{C} = T_1$$

$$10^3 \times 13 = \frac{94 \times 2.4}{(30 - 45) \times 1.0 \times 1.15} = V$$

طريقة تصميم نوع المجفف الشمسي المبني على الحمل الحراري عنوة:

Design procedure for solar based forced convection type drier:

سيتم تناول الاعتبارات النظرية للتصميم النظري الكامل للمجفف الشمسي المبني على تجفيف الفاكهة والخضروات بالحمل الحراري عنوة (Forced convection).

المجمعات الطافية الشمسية

متطلبات التجفيف مثل المحتوى من الرطوبة الأولى والنهائي للمنتج المطلوب تجفيفه، أفضل درجة حرارة ومعدل تدفق للهواء اللازم للتجفيف، المعاملات المناخية ومواد الإنشاء التي تؤثر على المجفف الشمسي تلك، ذلك سيتم مناقشته.

طريقة التصميم خطوة بخطوة للمجمع باللوح المستوى بطاقة مماثلة سيتم تناولها.

تصميم سخان الهواء يتوقف على:

(1) متطلبات التجفيف للفاكهة والخضروات.

(2) المعاملات المناخية.

(3) توفر مواد الإنشاء.

(1) متطلبات التجفيف:

هذا هو الأهم من بين كل ما يتضمنه درجة الحرارة ومعدل تدفق الهواء لمنتج معين مطلوب تجفيفه. يوصى بمجال مختلف لدرجة الحرارة لمختلف الحاصلات ولكن معدلات تدفق الهواء المقابلة ليست هناك. يجب الحرص نحو تجنب الصلابة السطحية. لذلك فإن الهواء يجب أن يكون له معدل تدفق طاقى الذى يمكن من إزالة الرطوبة فى وقت محدد. وهو يتضمن محتوى الرطوبة الأولى والنهائي للمحصول وحرارته النوعية. معظم الفاكهة والخضروات لها محتوى الرطوبة عالى حتى 90%. ويتم تجفيفها حتى مستوى رطوبة 15 - 20%، وأحيانا إلى أقل من 3 - 4%، لذلك فإنه يلزم طاقة كبيرة لوحدة الوزن من المنتج.

ثانياً: من الضروري تحديد زمن التجفيف وطاقة المجفف. فى المجففات ذات الطاقة الصغيرة يمكن تجفيف الشحنة كلها فى يوم واحد مشمس ولكن الطاقة الأكبر قد تستغرق أكثر من يوم واحد. ولكن من المفيد استخدام طاقة ليوم واحد لحين توفير نظام تخزين الحرارة أو التعزيز بسخان إضافي، وبخلاف ذلك فإن نوعية المنتج يمكن أن تتلف. هنا من المهم أن فترة التجفيف تقرر معدل تدفق الهواء بحيث يوجد توافق بين تدفق الهواء ووقت التجفيف، وذلك لتجنب الصلابة السطحية (Case Hardening). الطاقة اللازمة لتجفيف منتج معين يمكن أن تنقسم إلى ثلاث مجموعات فرعية وهى:

(1) الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة المنتج حتى درجة حرارة التجفيف بالهواء فى شكل حرارة محسوسة.

$$E1 = M \times Cp' \times \Delta t$$

حيث:

E = الطاقة بالكيلو كالورى أو الكيلو جول (Kcal/Kj).

M = كمية المنتج.

Cp' = الحرارة النوعية للمنتج كيلو كالورى/كجرام⁵ م أو كيلو جول/كجرام⁵ م

Δt = ارتفاع درجة الحرارة.

(2) الحرارة الكامنة للتبخير لإزالة الرطوبة

$$E2 = M' \times L$$

حيث:

M' = كمية الرطوبة اللازم إزالتها، كجرام

L = الحرارة الكامنة للتبخير كيلو جول/كجرام

(3) الفقد الذى يعتمد على عدد من العوامل مثل، العزل الحرارى، مادة الإنشاء،

المساحة الملتصقة بهواء التجفيف والذى يمكن استنتاجه طبقاً لذلك. لهذا، إجمالى الطاقة

اللازمة = الفقد + $E1 + E2$

كمية الرطوبة اللازم إزالتها يمكن حسابها من

$$M1 = \frac{Imc - Fmc}{100 - Fmc} \times M$$

حيث :

Imc = المحتوى الأول من الرطوبة، % (البصيلة الرطبة)

Fmc = المحتوى النهائى من الرطوبة، % (البصيلة الرطبة)

M = كمية المنتج، كجرام

من المهم عند هذه النقطة أن كل ذلك يساعد فى الحسابات الأولية، اختيار المنتج

للتصميم.. الخ، اختيار المنتج يقرر درجة الحرارة التى إليها يتم تسخين الهواء.

Climate factor: معامل المناخ :

معامل المناخ يقوم كذلك بدور هام ومن بين تلك العوامل تقع درجة حرارة الجو

المحيط. الرطوبة النسبية للمجال المحيط، الكثافة الشمسية وسرعة الرياح، خلال فترة

العمل. من المفضل التصميم فى أسوأ الحالات.

درجة حرارة الهواء المحيط تهبط خلال فصل الشتاء. كلما انخفضت درجة حرارة

الهواء المجاور كلما زاد الفقد وفى نفس الوقت يكون المطلوب طاقة أكثر لرفع درجة

الحرارة إلى المستوى المطلوب.

الرطوبة النسبية للمجال المحيط تزداد خلال فصل الشتاء وتقل خلال فصل الصيف. وبالمثل تزداد سرعة الرياح خلال فصل الصيف وتقل خلال فصل الشتاء.

يجب أن يكون هناك توافق بين كل تلك العوامل، حيث خلال أحد الفصول إذا كان شئ محبباً فإن كل الباقي قد لا يكون كذلك. فمثلاً، خلال فصل الصيف فإن احتمال الاشمس من الشمس يكون عالياً والذي يكون محبباً ولكن في نفس الوقت تكون سرعة الرياح عالية كذلك والذي يكون غير مناسب. لذلك يكون من المهم تقرير القيم المناسبة لتلك المعايير.

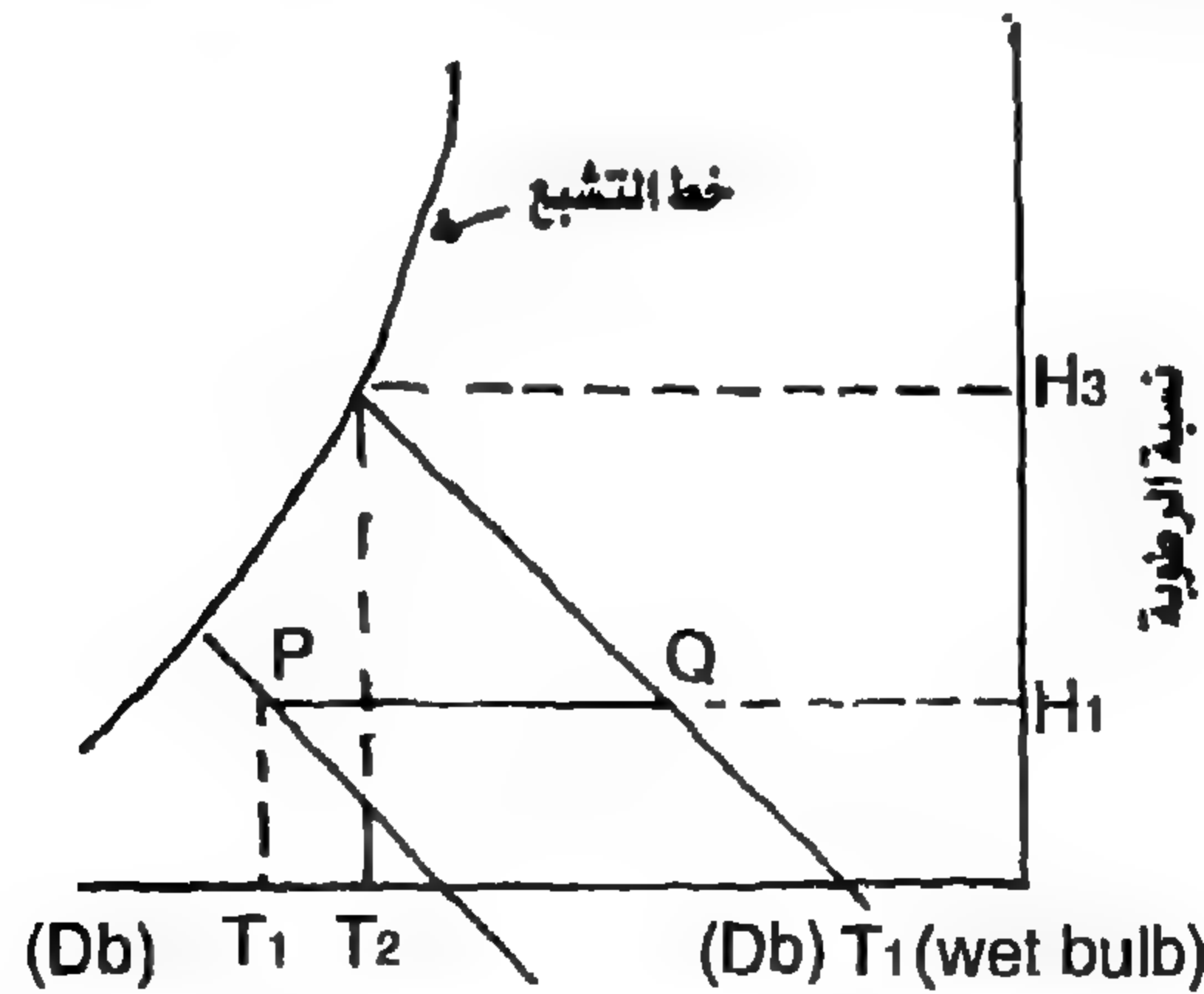
مادة الإنشاء :

وهذه تشمل اختيار المواد المختلفة المتاحة، مثل الزجاج، البولي ثين..الخ. للأغطية، للوح الماص الألومنيوم، الصلب المطاوع أو ألواح معدنية أخرى.. الخ يتم اختيارها طبقاً لوزنها، توصيلها الحراري والتكلفة الخ. اختيار مادة العزل يتوقف كذلك على تكلفتها، وفرتها، التوصيل الحراري، القابلية للنقل.

حساب معدل تدفق الهواء / معدل تدفق الكتلة:

يلزم هواء زائد لتوصيل الحرارة إلى المنتج لتبخير الماء الموجود عن المطلوب لنقل بخار الماء من غرفة التجفيف. لقد ثبت أنه يلزم 5 - 7 أضعاف الهواء لتسخين المنتجات الغذائية مقارنة بالمطلوب لحمل الرطوبة من المنتج.

التجفيف هو ظاهرة انتقال حرارة وكتلة. طاقة حمل الرطوبة للهواء هي التي تحدد كمية الهواء اللازمة. درجة حرارة الهواء في المجال المحيط والرطوبة النسبية تثبت النقطة P، على مخطط مقياس رطوبة الجو الموضح في الشكل (18/6).



شكل (18/6) مخطط قياس الرطوبة موضحاً

حالة الهواء خلال عملية التسخين والتجفيف

المجمعات الطافية الشمسية

مكان النقطة (Q) يكون ثابتاً بدرجة الحرارة التي يحتاجها الهواء ليصبح ساخنًا. تسخين الهواء من (P) إلى (Q) يتم بإحساس (Sensibly) أى لا يوجد إزالة أو إضافة للرطوبة فى الهواء.

الآن الهواء عند (T₀) يدخل غرفة التجفيف (يتم فقد بعض الحرارة ما بين سخانات الهواء وغرفة التجفيف لذلك ينصح بتصميم لدرجة حرارة أعلا عن المطلوب بفرض الانخفاض فى درجة الحرارة طبقاً لذلك)، بينما الهواء يمر خلال طبقة التجفيف فإنه سوف يتبع خط درجة حرارة البصيلة الرطبة (Wet bulb) وسوف يترك الغرفة برطوبة نسبية زائدة مكان النقطة (R) على مخطط مقياس الرطوبة يتوقف على طبيعة المنتج، عمق طبقة التجفيف، سرعة الهواء .. الخ. الفرق بين نسبتي الرطوبة يعين إزالة الرطوبة لكل كيلو جرام من الهواء.

لذلك، إجمال كمية الهواء المطلوب: (W) هي :

$$W = \frac{M_1}{H_2 - H_1}$$

حيث :

M' = كمية الرطوبة اللازم إزالتها، كجرام

H₁ = نسبة الرطوبة عند المرحلة الأولى كجرام/كجرام.

H₂ = نسبة الرطوبة عند المرحلة النهائية كجرام/كجرام

الآن: معدل تدفق الكتلة (m)

$$m \text{ (بالكيلو جرام/ساعة)} = \frac{W}{\text{زمن التجفيف بالساعات}}$$

$$\text{معدل تدفق الهواء (م}^3\text{/ق)} = \frac{\text{معدل تدفق الكتلة} \times \text{الحجم النوعى للهواء عند النقطة (أ)}}{60}$$

$$\text{متر مكعب/الدقيقة} = \frac{Vm}{60}$$



الفصل السابع

المجمعات الشمسية من نوع

التركيز البؤري

Solar Collector: Focusing Type

مقدمة :

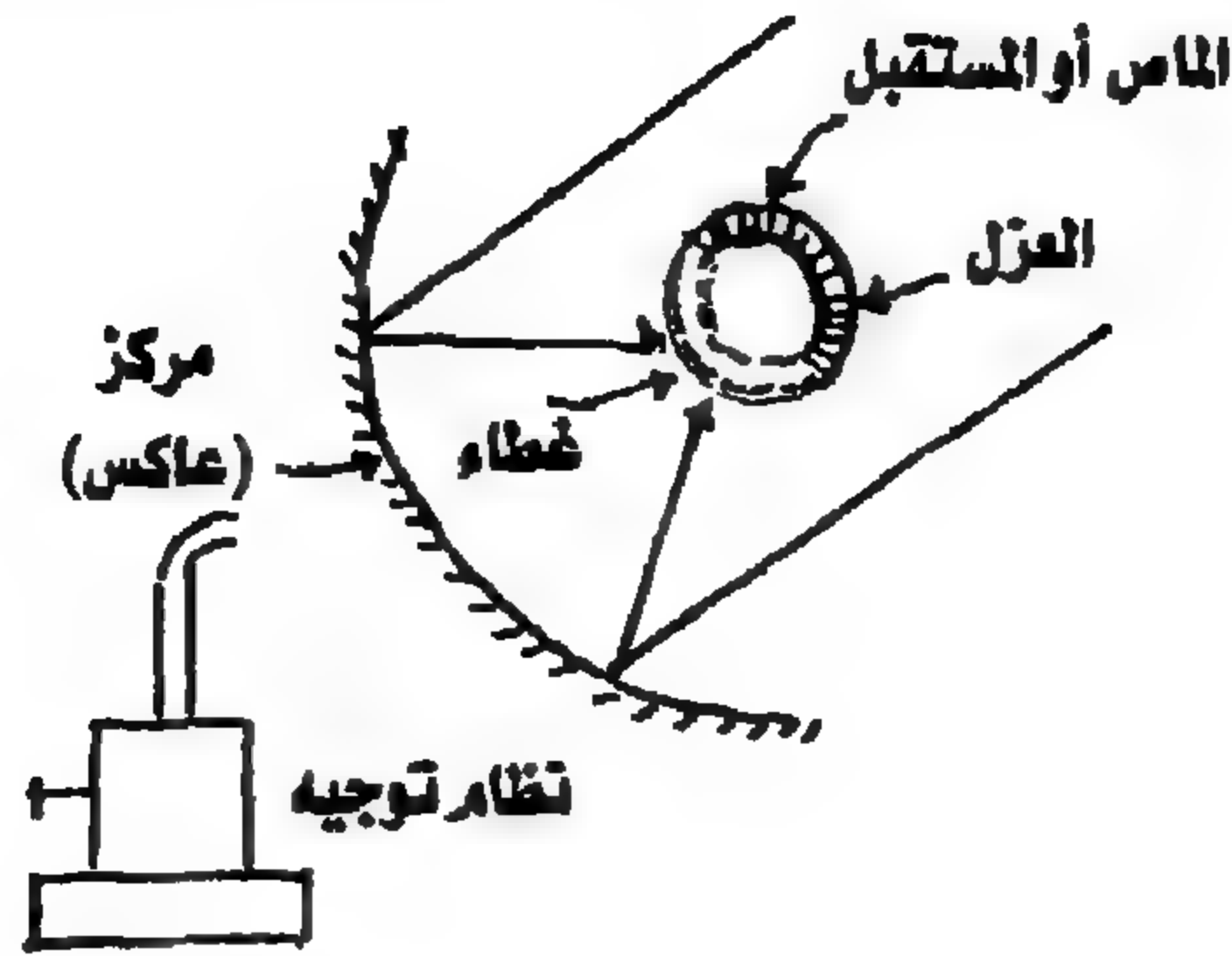
مجمع التركيز البؤرى هو تجهيزه لجمع الطاقة الشمسية بتركيز عالى للإشعاع الشمسى على سطح امتصاص الطاقة. مثل هذه المجمعات تستخدم نظام ضوئى فى شكل العاكسات أو الكاسرات (Reflectors or refractors).

مجمع التركيز البؤرى هو شكل خاص من أشكال مجمع اللوح المستوى المطور بإدخال سطح عاكس (أو سطح كاسر) (مركز) مابين الإشعاع الشمسى والماص. مجمعات التركيز البؤرى يمكن أن يكون لها زيادة إشعاع من القيمة المنخفضة ذات 1.5 إلى 2، القيم العالية ذات المقدار حتى 10000.

الميزة الرئيسية لنظم المركبات مقارنة بالمجمعات ذات اللوح المستوى هي:

- 1- أسطح الانعكاس تحتاج إلى مواد أقل وأسهل فى الإنشاء مقارنة بمجمعات اللوح المستوى. بالنسبة لنظام المجمع بالتركيز التكلفة لوحدة المساحة من سطح المجمع الشمسى تكون أقل عن تلك المجمعات للوح المستوى.
- 2- مساحة الامتصاص (الماص) للنظام المركز أصغر من ذلك لنظام السطح المستوى لنفس تجميع الطاقة الشمسية وتركيز العزل يكون لذلك أكبر.
- 3- بسبب المساحة التى تفقد منها الحرارة نحو المجال المحيط لكل وحدة مساحة جمع الطاقة الشمسية يكون أقل عن تلك لمجمع اللوح المستوى وبسبب العزل على الماص يكون أكثر تركيزاً، فإن سائل التشغيل يمكن أن يحصل على درجة حرارة أعلا فى نظام التركيز مقارنة بذلك فى مجمع السطح المستوى لنفس سطح تجميع الطاقة الشمسية.
- 4- بسبب المساحة الصغيرة للماص لوحدة مساحة التجميع للطاقة الشمسية، فإن انتقاء المعالجة السطحية و/أو العزل بالتفريغ لخفض الفقد الحرارى وتحسين كفاءة المجمع الشمسى يعتبر ذو جدوى اقتصادية.
- 5- نظم التركيز البؤرى أو التركيز يمكن استخدامها لتوليد الطاقة الكهربائية عند عدم استخدامها للتسخين أو للتبريد. إجمالى وقت التشغيل المفيد فى العام يمكن لذلك أن يكون كبيراً لنظم التركيز مقارنة بمجمعات اللوح المستوى وتكاليف الإنشاء الأولية للنظام يمكن اكتسابها بالوفر فى الطاقة فى فترة زمنية قصيرة.
- 6- بسبب ارتفاع درجة الحرارة التى يمكن الحصول عليها مع نظم التركيز فإن كمية الحرارة التى يمكن تخزينها لوحدة الحجم تكون أكبر وبالتالي فإن تكاليف تخزين الحرارة تكون أقل لنظم المركبات مقارنة بمجمعات اللوح المستوى.

- 7- في استخدامات التسخين والتبريد الشمسي، فإن درجة الحرارة المرتفعة التي يمكن الحصول عليها لسائل التشغيل بنظام التركيز تمكن من تحقيق كفاءة عالية، في دورة التبريد، وتكلفة أقل لتكييف الهواء بالمركبات مقارنة بمجمعات اللوح المستوي.
- 8- ليست هناك حاجة أو القليل من مقاوم التجمد لحماية الماص في النظام المركز حيث سطح المجمع للطاقة الشمسية يتطلب الحماية ضد التجمد في حالة مجمع اللوح المستوي.
- 9- ولكن مثل هذه المجمعات تحدث مشاكل إضافية أي سلبيات والتي هي:
 - 1- بعيداً عن الإشعاع وانتشار الإشعاع الشمسي فإنه يتم فقط تكون الإشعاع (Beam component) في حالة مجمعات التركيز ذلك لأن مكونات الانتشار لا يمكن انعكاسها وبذلك فإنها تفقد.
 - 2- في بعض نظم الانعكاس الثابتة يكون من الضروري وجود ماص صغير (Small absorber) لتعقب الشمس، وفي البعض الآخر، يمكن أن يكون لدى العاكس إمكانية الضبط في أكثر من وضع واحد إذا كان المطلوب الاستخدام خلال العام، بمعنى آخر، يلزم استخدام نظم توجيه مكلفة لتعقب الشمس.
 - 3- متطلبات إضافية للصيانة خاصة لحماية نوعية السطح العاكس من الأوساخ، الأكسدة، التأثيرات الأخرى للبيئة المحيطة..الخ.
 - 4- لا يوجد تدفق غير متجانس (Non - uniform flux) على الماص بينما يكون التدفق في مجمعات اللوح المستوي يكون متجانساً.
 - 5- فقد بصرى آخر مثل فقد الانعكاس وفقد الإعاقة، لذلك فإن تلك تدخل عوامل إضافية في ميزان الطاقة.تلك المشاكل وبالتالي التكلفة العالية قد أعاق استخدام مجمعات التركيز البؤري واستخدامها فقط في الأفران. المواد الجديدة وتحسين النظم الهندسية يمكن أن تجعلها ذات أهمية تطبيقية.
- لتجنب التداخل في المصطلحات فإن كلمة مجمع (Collector) سوف تطبق لكل النظام شاملاً المستقبل والمركز. المستقبل هو ذلك العنصر من النظام حيث يتم امتصاص الإشعاع وتحويله إلى بعض من أشكال الطاقة الأخرى ويشمل الماص، والأغطية والعزل..الخ. مخطط لمجمع التركيز البؤري موضح في الشكل (1/7).



شكل (1/7) مخطط للمجمع البؤري

المركز أو النظام البصري هو جزء المجمع الذي يوجه الإشعاع (المنعكس أو المنكسر) على المستقبل.

القرص الشمسي وصور الشمس النظرية:

Solar disk and theoretical solar images:

كل النظم البصرية تكون صورة للشمس على المستقبل. بسبب الزاوية الصغيرة جداً المقابلة للشمس عند أي نقطة على الأرض، فإن الصورة النظرية الناتجة بأي نظام بصري سوف يكون لها حجم محدود طبقاً لحجم قرص الشمس وهندسة النظام. الأشعة الشمسية لها زاوية مقدارها 32' عند أي نقطة على الأرض.

المركبات الشمسية والأشكال الهندسية للمستقبل :

Solar concentrators and receiver geometries:

يوجد العديد من الوسائل لزيادة تدفق (FLUX) الإشعاع الشمسي على المستقبلات (Receivers). ويمكن تقسيمها لعدسات أو عواكس، طبقاً لنوع نظم التركيب والتوجيه، بتركيز الإشعاع القادرين على تحقيقه.

المركبات هي مكونات مستخدمة لزيادة تركيز تدفق الطاقة على المستقبل. نسبة التركيز هي (A_r / A_a) حيث هي مساحة فتحة المركز إلى مساحة امتصاص الطاقة الشمسية للمستقبل. وهي تحدد قدرة التأثير للمركز.

مجمعات التركيز يمكن تقسيمها إلى الآتي:

1) يمكن أن تكون من نوع العاكس مستخدمة المرايا أو النوع الكاسر (Refracting) مستخدمة عدسات فريزيتل (Fresnel) وحدة تردد بصري تساوي 10^{12} دور في الثانية = 10^{12} هرتز). الأسطح العاكسة يمكن أن تكون في شكل القطع المكافئ، الأسطوانى، أو المستوى وهي يجب أن تكون مستوية أو متقطعة.

(2) بالنسبة للبصريات، المراكز الشمسية عموماً يمكن تقسيمها أما بنظم تقطعه البؤرة (Point focus) أو تركيز بؤري لنقطة أو تركيز بؤري لخط (Line focus). نظم تركيز النقطة لها تماثل دائري وهي تستخدم عادة عندما يكون المطلوب تركيز عالي للإضاءة، كما في الأفران الشمسية ونظم استقبال الطاقة المركزية. الخط البؤري (Line focus) هو نظام له تماثل أسطواني. وتستخدم عادة عندما يكون تركيز الوسط كافياً للوصول إلى درجة حرارة التشغيل المطلوبة.

(3) التقسيم الكبير للمركز الشمسي يبنى على مجال الرؤية للمركز. إذا كان مجال الرؤية أكبر من الحجم الزاوي للشمس والذي هو حوالي 5.5 (32')، عندئذ يكون ليس من الضروري استمرار توجيه المركز نحو الشمس مع تحركها في السماء. مثل هذه المراكز يشار إليها بأنها المراكز بدون تتبع، بالمقارنة للمراكز بالتتبع التي تحتاج لتتبع الشمس باستمرار. فإن نسبة التركيز التي يتم الحصول عليها بالمراكز التي تعمل بدون تتبع يكون أقل من تلك المراكز التي تعمل بالتتبع.

طبقاً للتقسيم السابق، الآتي نظم التركيز الممكنة:

1- نوع العاكس المستوي والمستقبل المستوي :

Plane Reflector and plane receiver type:

الشكل (2-7a) أ يبين أن كلا من العاكس والمستقبل مستويا. مثل هذا النظام بسيط جداً في الإنشاء وله ميزة امتصاص بعد الكون المنتشر للإشعاع الذي يسقط مباشرة على المستقبل. ولكن، يشبه التركيز لهذا النوع نسبياً منخفضة، ذات أقصى قيمة أربع أو أقل ($CR \leq 4$).

2- العاكس القمعي والمستقبل الأسطواني:

Conical reflector and cylindrical receiver type:

الشكل (2/7b) يبين هذا النظام الذي فيه العاكس يكون في شكل قمع والمستقبل في شكل أسطوانة.

نسبة التركيز أعلا قليلاً عن ذلك في الحالة الأولى حيث قد تصل إلى عشرة.

3- عاكس فريزنيل: (Fresnel reflector)

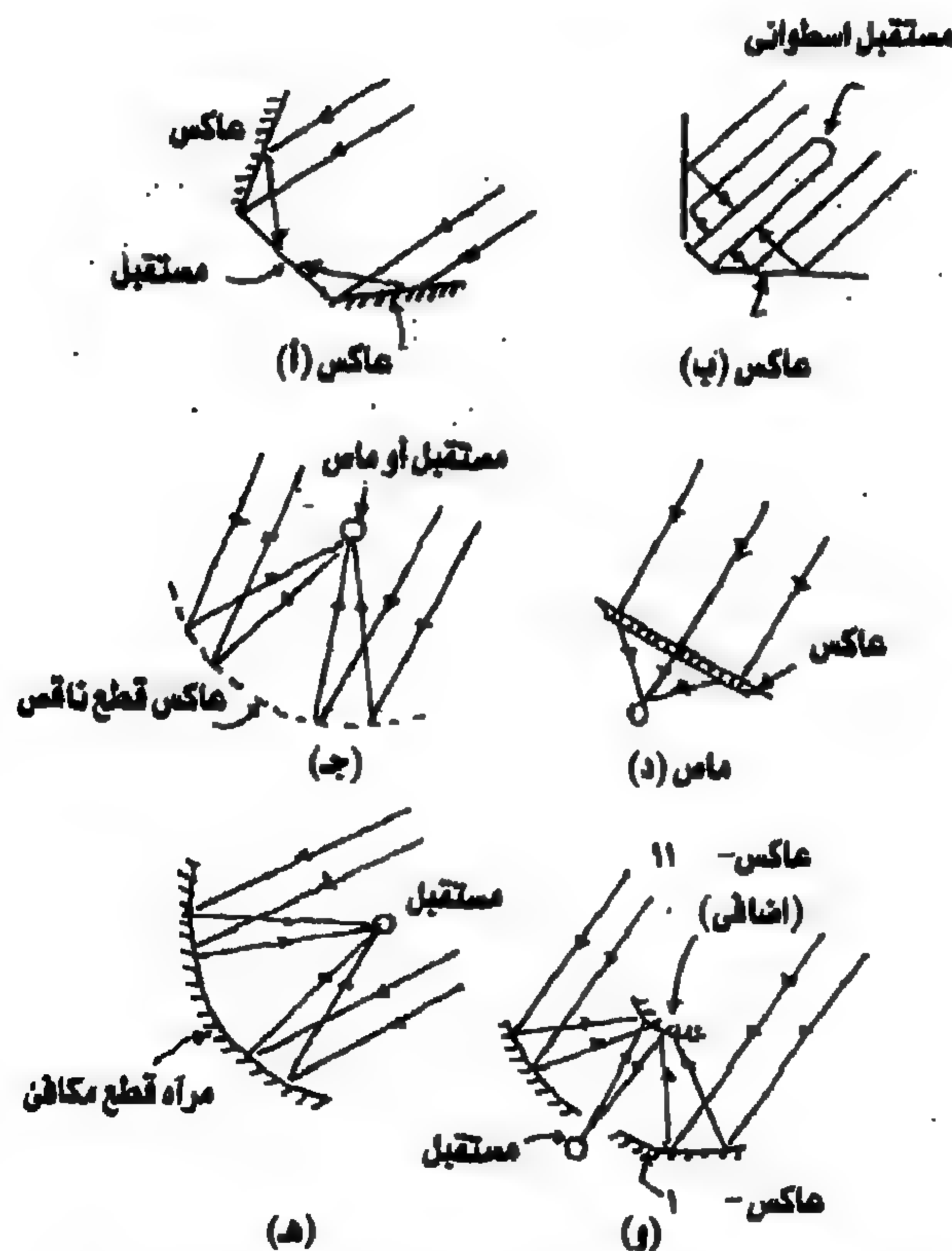
عاكس فريزنيل يتكون من عاكس في شكل المكافئ (Parabolic) المصنوع من أجزاء صغيرة (الشكل جـ ، د) الميزة الرئيسية هي في سهولة التصنيع ولكن هذه ليست معرضة لبعض الفقد الإضافي للإشعاع قرب الحافة لكل جزء. الجزء المقابل للانعكاس موضح في الشكل (د).

المجمعات الشمسية من نوع التركيز البؤري
 ميزة عدسات فريزنيل الطولية هي أنه يمكن استخدام تقنية البثق لمادة
 النيرمو بلاستيك في تصنيعها. نسبة التركيز حوالى عشرة ويمكن تحقيقها.

4- النظام المكافئ (Parabolic system)

فى نظام مكون من مرآة مكافئة (Parabolic mirror) وله مستقبل عند مركزه
 البؤرى. تكون نسبة التركيز عالية جداً ولذلك يمكن استخدامه حيث يكون المطلوب
 درجة حرارة عالية. فى النظم الأسطوانية تكون نسبة التركيز أقل مقارنة بالأجزاء
 المقابلة المكافئة. فى كلا الحالتين يوضع المستقبل عند البؤرة أى على طول الخط
 البؤرى فى نظام المكافئ الأسطوانى وعند البؤرة فى نظام نظم المكافئ
 (Paraboloidal).

تطوير لنظام المكافئ موضح فى الشكل (f). فى هذه الحالة يستخدم نظام عاكس
 مزدوج لتحريك البؤرة على النقطة المناسبة.



شكل (2/7) أشكال لبعض مجمعات التركيز البؤرية

نسب التركيز حوالى من 30 إلى 100 أو أعلا يلزم تحقيقها للحصول على درجات
 حرارة فى المجال من 300 إلى 5000°م أو أعلا. المجمعات المصممة لمثل هذه النسب

العالية من التركيز من الضروري أن يكون لها زوايا صغيرة لمجال الرؤية وبالتالي تحتاج إلى تتبع الشمس باستمرار. التقسيم الكبير لمثل هذا المجمع هو:

1- مجمع المستقبل المركزي، مثل المرآة المكافئة (Paraboloidal Mirror)

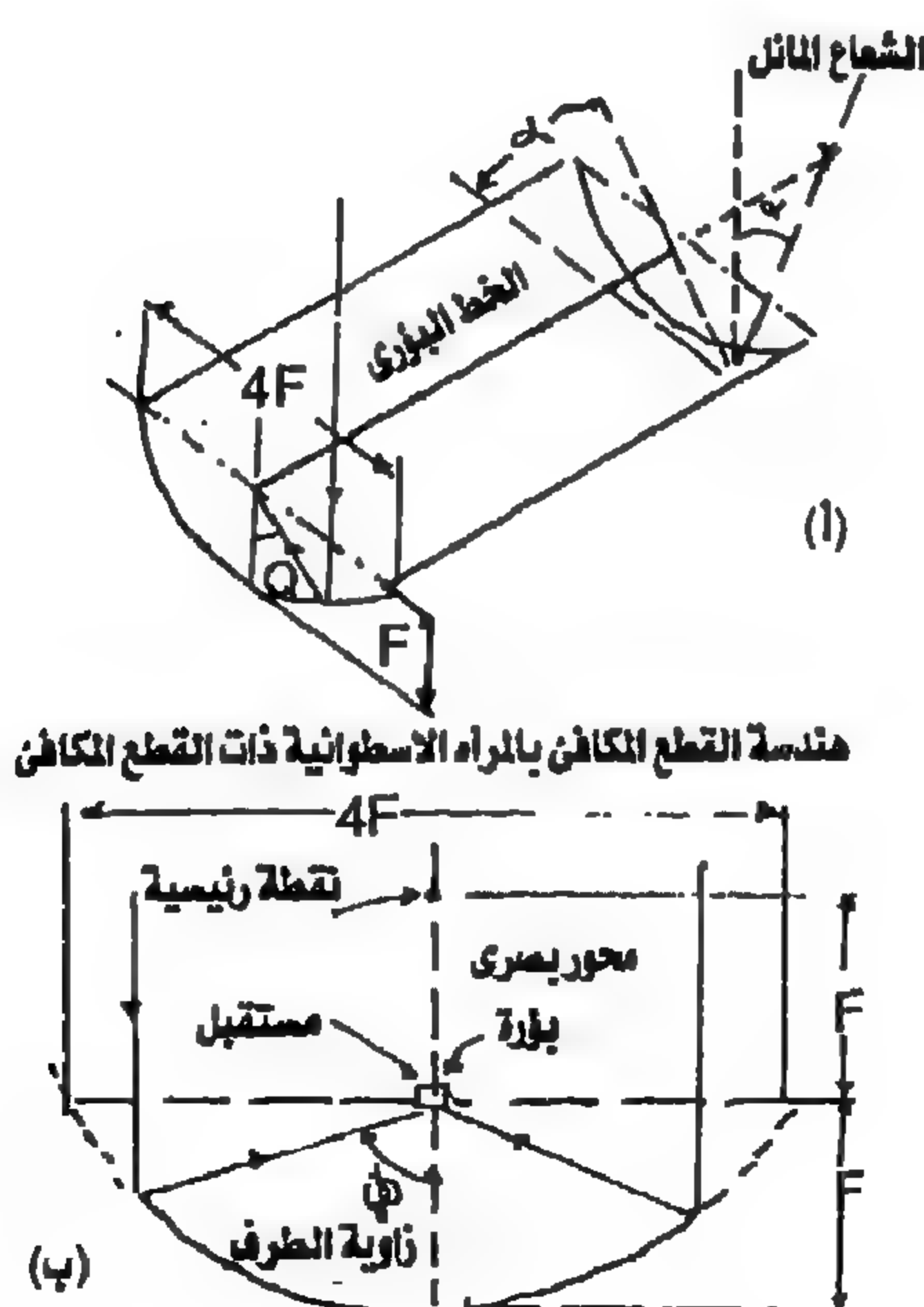
ومحطة برج الطاقة المستخدمة لمرايا الهيليوستات وهي مرآة برج الطاقة المستخدمة لمرايا الهيليوستات وهي مرآة دوارة (أو مجموعة مرايا) تعكس أشعة الشمس في اتجاه واحد (Heliostat mirrors).

2- مجمع البؤرة الطولية (Linear focus collector)

في شكل حوض بالقطع المكافئ أو الوحدات المستخدمة لشرائط مرآة ذات السطح الصغير (The ones employing faceted mirror strips).

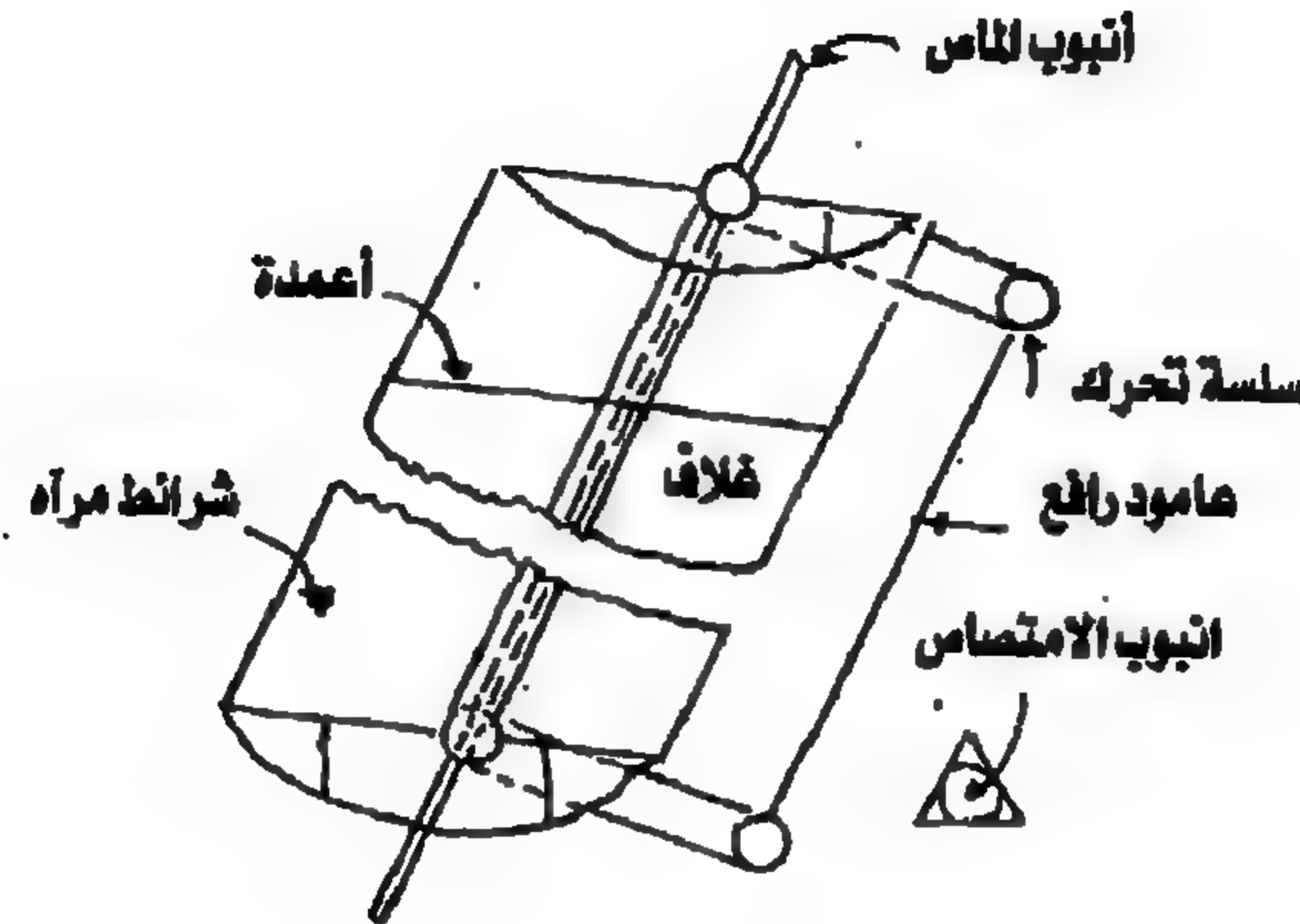
3- المرآة الأسطوانية أو القمعية (Axion)

ذات البؤرة المنحرفة (Aberrated foci). الحد الطبيعي العلوي إلى نسب التركيز التي يمكن الحصول عليها بالأحواض المكافئة والمتكافئة (Paraboloids and parabolic) والذي يتحدد لنسبهم وهي (f على d) والتي هي حوالي 10000، 100 على التوالي لكل الحالتين. نسب التركيز التي يمكن الحصول عليها عملياً هي حوالي $1/3$ إلى $1/2$ من القيم السابقة بسبب عدم انتظام سطح العاكس، مرايا التتبع الخ..



شكل (7/3) الأساس الهندسي للقطع المكافئ

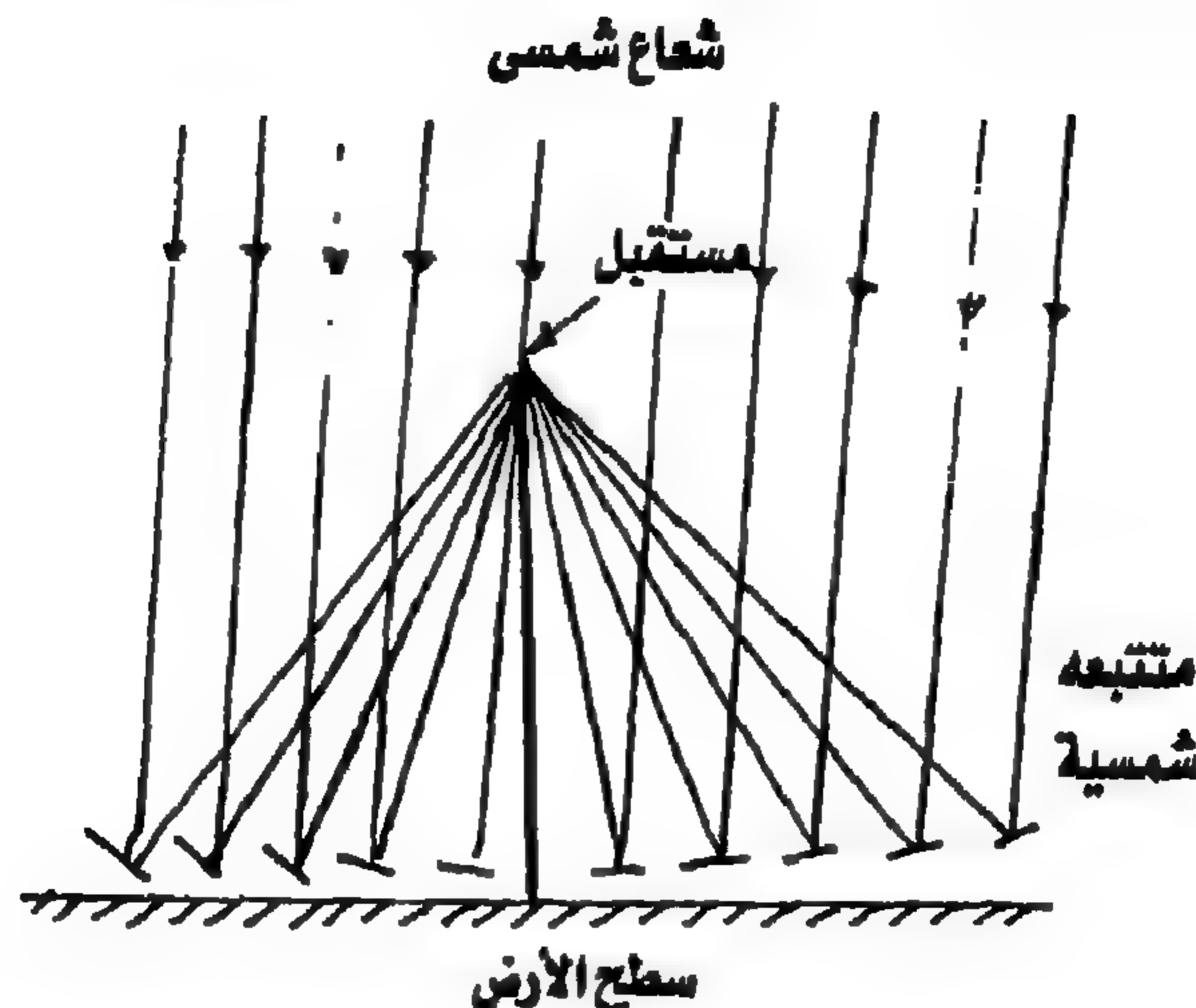
مفهوم مجمع المستقبل المركزي (Central Receiver collector) بسيط جداً. لتجنب التكلفة والفقد الحراري في نقل مائع التشغيل إلى موقع مركزي، يستخدم ضوء الشمس نفسه كمجال انتقال. لتنفيذ هذا المفهوم، فإنه يلزم حقل من المرايا المزودة بوسائل توجيه ضوء الشمس المنعكس إلى مكان مركزي، أو مكان عند طرف واحد لحقل المرايا.



شكل (4/7) نموذج للنظام الاسطوانى بالقطع المكافئ

في المستقبل المركزي النموذجي، تتكون المرايا من عدد كبير من المرايا الصغيرة لكل معها الهيليوستات الخاص بها (الذي يعكس أشعة الشمس في اتجاه واحد) لتتبع الشمس. تلك الهيليوستات تكون عموماً موضوعة في المستوى الأفقي، ولكن عندما تكون الظروف ملائمة، يمكن بسهولة تتبع الأرض الموجودة. الفرق الأساسي بين مركز المرآة الواحدة ونظام الهيليوستات هو أن نظام الهيليوستات له مرآة مخففة (Dilute Mirror). هذا يعني أن السطح الكلي خلال النظام ليس مغطى بـ سطح المرآة. هذا التخفيف يسمى عموماً معامل الملئ (Fill factor) المستقبل المركزي بمعامل الملئ 40% يعني أن 40% من مساحة الأرض ليست مغطاة بالمرايا.

المستقبل المركزي للنظام البصري الموضح في الشكل (5/7) حيث العديد من المرايا الصغيرة تكون مركبة كل على حدة للعمل معاً مثل المكافئ المخفف (Dilute Paraboloid). المشكلة الأساسية المصاحبة للمستقبل المركزي هي أن المرايا الهيليوستات تتطلب معدل تشغيل غير طولي في إحداثيين (2 coordinates) لتحقيق متطلبات المحافظة على نقطة الصورة المعكوسة على مستقبل ثابت. مع المشكلة حيث المطلوب أن الهيليوستات يكون متجعداً (Rugged Enough) بما يكفي لمقاومة العواصف والعمل بنجاح في الرياح المتوسطة.



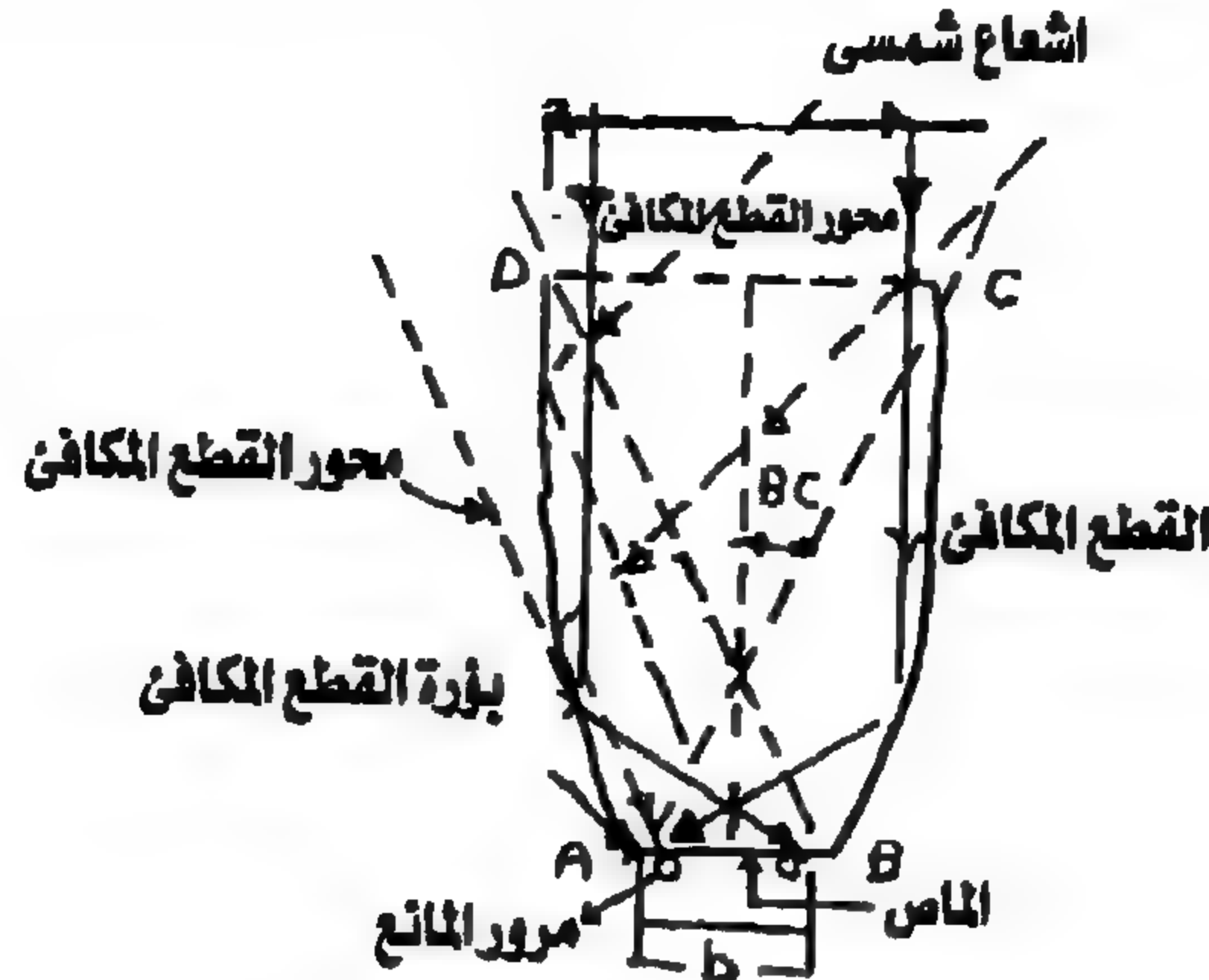
شكل (5/7) مخطط مستقبل مركزي لمصفوفة المتتبعه الشمسيه

من بين كل المركبات القابلة للتوجيه التي ذكرت سابقاً فإن ذو القطع المكافئ (Paraboloids) له أعلا كفاءة بالنسبة لاستخدام مساحة العاكس حيث في حالة المكافئ القابل للتوجيه كلية لا يوجد هناك فقد بسبب تأثيرات إسقاط الفتحة Aperature projection effects. كذلك فقد بالإشعاع يكون صغيراً بسبب صغر مساحة الماص عند البؤرة. ولكن عندئذ يكون من الصعوبة الشديدة التصنيع والتشغيل أيضاً. الحجم العملي لمساحة الفتحة يكون حوالي 50 متر مربع حيث منه يمكن استخلاص من 15 - 20 كيلوات من الطاقة المفيدة بعمليات التحويل الحراري - مجسم القطع المكافئ (Paraboloid) يتضمن أسطح مركبة منحنية (Compound curvature surfaces) وأدائها يكون حساساً لانعكاسات المنشأ المرتبط مع محورين توحيد والذي يقل كثيراً الاستخدام الاقتصادي لجسم القطع المكافئ عند المستوى العادي للتطبيق.

5- مجمع القطعي المكافئ المركب أو مجمع ونستون:

Compound parabolic collector or Winston collector:

من الممكن تركيز الإشعاع الشمسي بمعامل 10 بدون تتبع نهاري (Diurnal Tracking) باستخدام هذا النوع من المجمعات. مجمع القطعي المكافئ المركب موضح في الشكل (6/7).



شكل (6/7) مركز القطع المكافئ المركب

هذا المجمع يتكون من اثنين من العواكس نوى القطعي المكافئ حيث يتم سريان الإشعاع في قمع (Funnel) من الفتحة إلى الماص.

النصف الأيمن والنصف الأيسر ينتمى إلى قطعي مكافئ مختلف (لذلك كان الاسم المجمع القطعي المكافئ المركب) محور الفرع الأيمن مثلاً، يعمل زاوية (θ_2) مع منتصف مستوى الجامع (Collector mid plane) وبؤرته تكون عند (A). عند نقطة النهاية (C) ، (D) يكون الميل موازياً لمستوى منتصف المجمع.

المركز المركب القطعي المكافئ الذي تم تطويره بواسطة وينستون يمثل الذي يمكن تسميته بالمركز المثالي وذلك بالنظر إلى أنه بالنسبة لمجال رؤية معين يمكنها تحقيق أقصى نسبة تركيز ممكنة المعطاة بالآتي:

$$CR = \frac{W}{b} = \frac{I}{\sin \theta_c}$$

حيث :

W = فتحة الدخول

B = فتحة الخروج، مغطاة بواسطة الماص

θ_2 = مجال الرؤية (نصف زاوية)

من المعادلة السابقة، نرى أنه يمكن تحقيق نسبة تركيز $= 10$ بالنسبة لمجال رؤية $\pm 6^\circ$ بما يفيد ضمناً أنه مع توجيه مجمع ونستون إلى الشرق أو الغرب عند المناطق القريبة من خط الاستواء (Low latitude) (أقل من 15°) فإنه لا تكون هناك حاجة للتتبع النهاري خلال 6 - 8 ساعة، رغم أن الميل الثاني (Second tilting) يكون

مطلوباً والذي هو من السهل الحصول عليه عملياً. نسبة التركيز عموماً تتراوح من 3 إلى 10.

سطح الماص (Absorber surface) له عرض (b). الحرارة المجمعة عند سطح الماص تنتقل إلى المائع خلال أنابيب ذات قطر خارجي (Do) وقطر داخلي (Di)، متصل بجانب القاع. المائع يدخلها عند درجة حرارة (Tfi) ويترك عند درجة حرارة (Tfo). الفتحة المغطاة بغطاء شفاف، يفترض أن تكون مائلة نحو الجنوب، بحيث أن شعاع الشمس الساقط عليها يكون خلال زاوية القبول للمجمع. بسبب كبر زاوية القبول، فإن مجمع القطعي المكافئ المركب يقبل كلا من إشعاع الشعاع (Beam radiation) والإشعاع المنتشر (Diffuse radiation). كل التدفق المؤثر الذي يدخل مسطح الفتحة يقدر بالمعادلة

$$S = (H_b R_b + \frac{H_d}{CR}) P.(\tau.\alpha)$$

حيث: مكونات الإشعاع المنتشر الساقط على مستوى الفتحة يعطى بواسطة H_d/Cr (هذا مبنى على معكوس العلاقة بين معاملات الشكل للتبادل الحراري المشع) (τ) = هي القدرة الانتقالية للغطاء / P هي القدرة على الانعكاس لسطح المركز لكل الإشعاع.

(α) = القدرة على الامتصاص لسطح الماص لاكتساب الحرارة المفيدة (QU) عاكسات مجمع القطعي المكافئ المركب يمكن تصميمها لأي شكل للماص كمثال.

أ- الماصات المستوية بجانب واحد.

ب- الماصات المستوية بجانبين (نتوءات fin)

ج- الماصات مثل الوتد (Wedgelike)

د- الماصات الأنبوبية.

أسباب اقتصادية وكذلك لأسباب حرارية، يفضل أنواع الماصات ذات الزعانف (Fin) أو الأنبوبية. في حالة الماص الأنبوبي ذو المركز الواحد مع (الغلاف المفرغ، يمن الحصول على درجة حرارة 200°م باستخدام مجمعات ونستون. وهي مناسبة لمجال درجة حرارة ما بين 100 - 150°م حتى في حالة عدم إحاطة الماص بالتفريغ. هناك إدعاء بأن مجمعات ونستون قادرة على الأداء المتنافس عند درجات الحرارة العالية بحوالي 300°م اللازمة لتوليد الطاقة، وذلك في حالة استخدامها بطلاءات انتقائية، كتفريغ بغلف المستقبل والذى يقلل الفقد الحراري من المجمع.

1- ليست هناك حاجة إلى التتبع، حيث له زاوية قبول عالية، يلزم فقط عمليات

ضبط موسمية. لنسب تركيز 3، حتى أن عمليات الضبط الموسمية يمكن أن تكون غير مطلوبة.

2- كفاءة قبول الإشعاع المشتت أكبر كثيراً مقارنة بالمركبات التقليدية.

3- نسب التركيز تساوي أقصى قيمة ممكنة لزاوية قبول معينة. بخلاف كل

الأشكال التي تم وضعها، فإن أقصى نسبة تركيز تكون متاحة بنظام المقطع المكافئ، وهي في حدود 10000.

لذلك فإننا نرى أن التركيز يتم الحصول عليه بانعكاس الإشعاع الشمسي من المرايا المستوية أو المقوسة. الإشعاع المنعكس يتم تركيزه في منطقة بؤرية، لذلك تزداد الطاقة التي يتم استقبالها لكل وحدة من مساحة السطح للمنطقة البؤرية.

معامل التركيز يتوقف على القطر الظاهري للشمس، والذي يتغير موسمياً، مع التوجيه للنظام نحو الشمس وطبقاً لنوع وحالة السطح (وجود لطع أو أكسدة)

أفضل العواكس المحببة هي المقوسة (Curved) ذلك بسبب سهولة تصنيعها. بالمقارنة، العاكس المستوي يجب أن يكون له القوة الكافية للمحافظة على استوائه، والمرآة ذات المسطح المعدني الرقيقة يمكنها فقط أن تكون مستوية إذا كانت تحت إجهاد الشد. كمية المادة المستخدمة للمرآة المقوسة صغيرة مقارنة بتلك المطلوبة للمجمع ذو اللوح المستوي.

شكل المستقبلات : (Shape of the receivers)

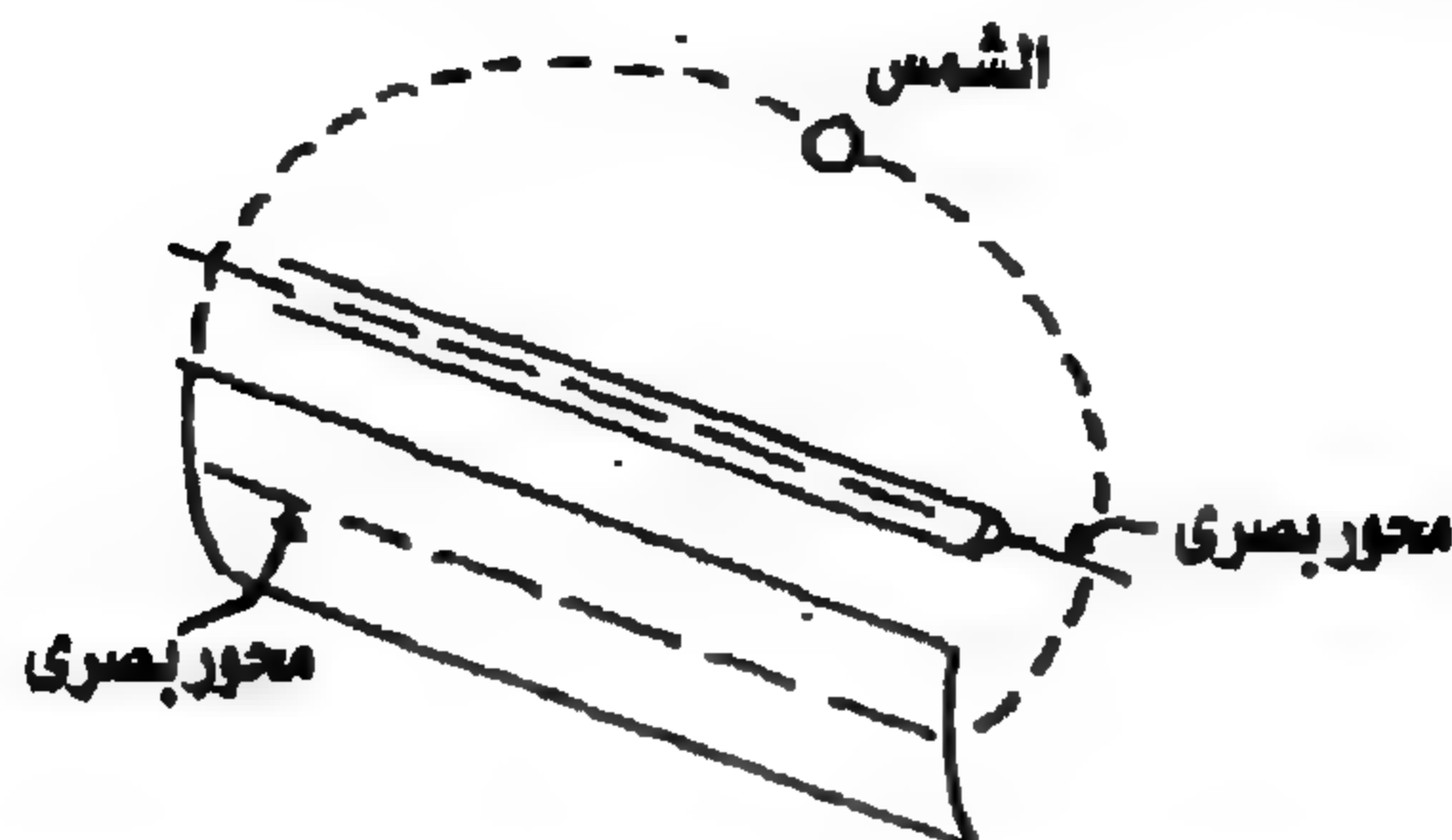
يوجد مجال كبير نحو اختيار أشكال المستقبل. مستوي، أسطوانى، نصف كروي، أو أى شكل منحنى آخر ومستقبلات ذات فجوات. الأسطوانية، النصف كروية يمكن لأى نظام تم مناقشته ومستقبل الفجوة يمكن استخدامه طبقاً للشكل (ج) إلى (و) فى الشكل (2/7).

نظم التوجيه وتتبع الشمس : (Orientation sun tracking systems)

لأقصى تجميع للطاقة يلزم توجيه المركز والمستقبل بالنسبة لاتجاه انتشار القاع الشمسى وتتبع الشمس فى بعض الدرجات، والذي يلزم لنظم التركيز البؤري. تم تصميم العديد من أجهزة التتبع، أما العاكس أو الماص يمكن تحريكه. الحركة المطلوبة لتحقيق التتبع تختلف طبقاً لتصميم النظام البصرى، ويمكن تنفيذ محصلة التحرك الناتجة بأكثر من نظام من مكونات التحركات.

1) بالنسبة للنظم الأسطوانية: Cylindrical system

لمثل هذه النظم، يكون التنظيم بحيث أن المحور البؤري قمة خط الجامع (Vertex line of the collector) والشمس يظل في المستوى شكل (7/7).



شكل (7/7) المستوى المنقط يحتوي ذروة خط العاكس ،

المحور البؤري والشمس

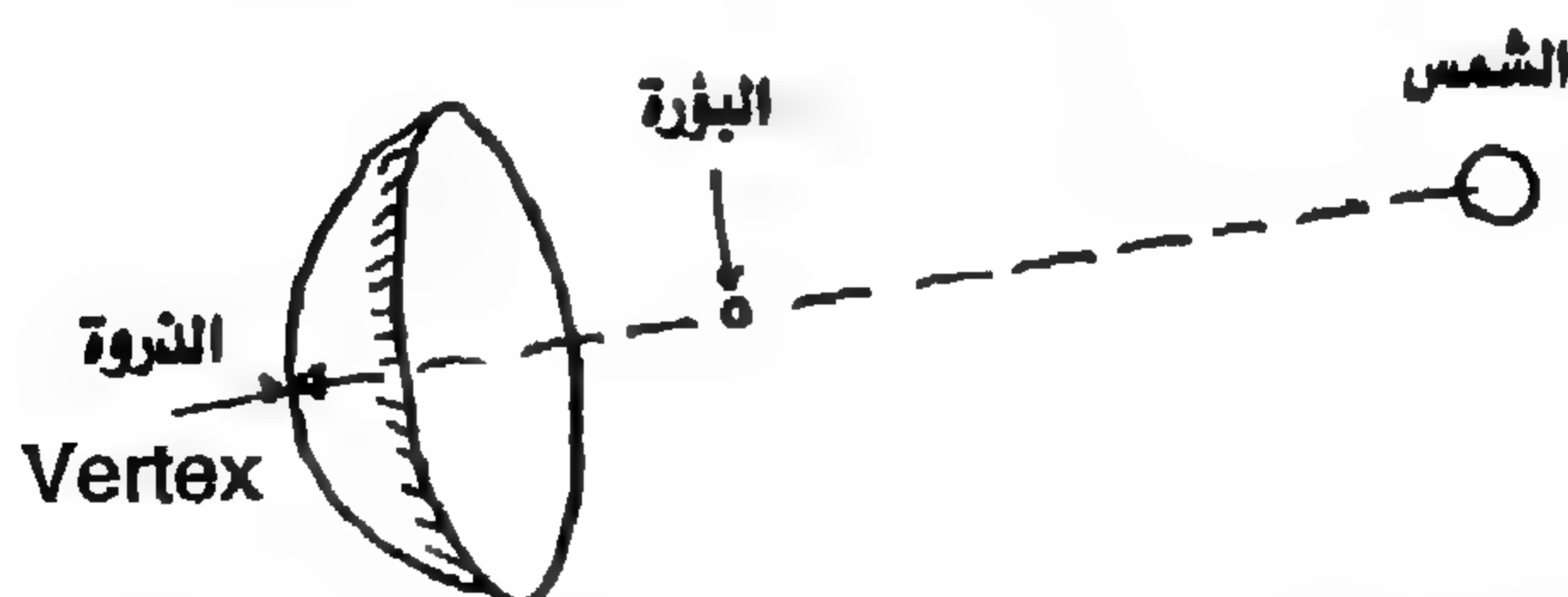
لذلك لهذا النوع من النظام، فإنه يمكن تدوير النظام البصري حول محور واحد لتحقيق المطلوب. يمكن تنفيذ ذلك بالآتي:

- 1- الدوران حول المحور الشمال - الجنوب.
- 2- الدوران حول المحور الشرق - الغرب.
- 3- الدوران حول محور مائل وموازي لمحور الأرض (المحور القطبي) (Polar axis).

عندما يكون المحور موازياً لمحور الأرض، فإن معدل الدوران يكون ثابتاً، دورة أو دورات واحدة في اليوم أو 15 درجة في الساعة لذلك يمكن استخدام تجهيزه ذات سرعة ثابتة، والتي سوف تحول البصريات من الشروق إلى الغروب.

2) لنظم السطوح والدوران (For surfaces and revolution systems)

لمثل هذه النظم يكون التوجيه أكثر تعقيداً، القمة (Vertex) والبؤرة والشمس يجب أن يكونوا على استقامة واحدة كما هو موضح في الشكل (8/7).



شكل (8/7) الذروه ، البؤرة والشمس على خط واحد

النظام يجب أن يدور حول محورين في توقيت واحد (بينما في حالة النظام الأسطوانية، يكفي فقط دوران محور واحد). تلك المحاور يمكن أن تكون (1) أفقية ورأسية (محور شمال - جنوب ومحور شرق غرب) (2) محور واحد للدوران (أى محور قطبي) والآخر عمودى عليه.

زاوية السقوط للإشعاع الشمسى هي التى تحدد كمية تجميع الطاقة فى نظام المجمع البؤرى (Focusing collector) تجميع الطاقة يكون عند أقصاه لنظام معين إذا كان التوجيه قد تم بطريقة حيث السطح المستوى عند المتصف سوف يتطابق مع شعاع الشمسى كل الوقت. هذا سوف يكون ممكناً فقط باستمرار الدوران حول واحد/اثنين من المحاور العمودية. تجميع الطاقة يكون عند لئاه فى حالة عدم حدوث التتبع. تقسيم آخر لنظم التوجيه يمكن عمله على التشغيل اليدوى أو الآلى.

1- النظم اليدوية:

هذا النوع من التوجيه سوف يعطى نتائج تتوقف على الملاحظة ومهارة العامل وهو مناسب إذا كانت نسب التركيز ليست عالية. مثل هذا النظام من الواضح خارج الاهتمام فى الاقتصاد الصناعى.

2- النظم الميكانيكية:

نظم التوجيه الميكانيكية يمكن أن تنقسم إلى (أ) نظم تتبّع الشمس (Sun seeking systems) (ب) النظم المبرمجة.

أ- نظم تتبّع الشمس.

ب- نظم المبرمجة.

أ- بالنسبة لنظم تتبّع الشمس: استخدام كاشفات (Detectors) لتعيين نظام عدم الحيود وخلال الإحكام تعمل التصميمات الضرورية.

ب- النظم المبرمجة: تجعل النظام يتحرك على ممر سبق تعيينه ويحتاج فقط المراجعة من أن إلى آخر.

الجمع بين النظم اليدوية والميكانيكية يمكن أن يكون مفضلاً وكذلك اقتصادى.

نظام التتبع يجب أن يصمم طبقاً للبيانات الآتية.

1- الغلاف والمنشأ يجب أن يكون محملاً خلال التتبع بدون أى انحراف كبير بسبب وزنه وكذلك الرياح التى عادة يتم ملاقاتها.

2- يجب أن يكون قادراً على العمل فى الرياح التى يتم ملاقاتها عادة.

3- القدرة على مقاومة الرياح العاتية وحالات العواصف الأخرى.

Materials of concentrating collectors and construction of reflectors:

لاختيار المواد، فإن الخواص ذات الأهمية لمجمع التركيز هي:

- 1- قدرة العاكس على الانعكاس (Reflectance).
- 2- قدرة التزجيج على النقل Transmittance.
- 3- القدرة على الامتصاص والانبعاث لطلاء الماص Absorptivity (α) and emissivity (ϵ) of the absorber coating.

لا توجد أسطح حقيقية مرآوى صقيل (Specular) بإتقان بسبب خشونة الميكرونية أو تموج السطح (undulation). النقص في الصقل أو اللمعان يساهم في نشر الشعاع بنفس طريقة أخطاء المرآة. بالنسبة للمجمعات ذات التركيز المنخفض، فإن العاكس لا يحتاج لأن يكون عالي اللمعان والصقل. الألومنيوم ذو قدرة انعكاس إجمالية من 85 إلى 95% والفضة ذات قدرة انعكاس كلية (Total reflectance) 95% وهي أفضل سطح انعكاس في تطبيقات الطاقة الشمسية، باستثناء حالات خاصة حيث يمكن استخدام الانعكاس الكلي الداخلي. بسبب التغير الطيفي، فإن قيمة محددة للانعكاس يمكن الحصول عليها فقط من خلال تكامل العاكس الطيفي خلال طيف شمسي معين.

أول سطح من المرايا يتطلب الحماية من العوامل البيئية. مسطح الألومنيوم يمكن حمايته جيداً بعملية الأنود (Anodization) والتي تنتج طبقة أكسيد التي يمكنها مقاومة التعرض الخارجي والغسيل. في حالة عدم تعرض سطح الألومنيوم إلى المجال البيئي الملاصق فإنه يكفي طبقة رقيقة للتغطية من فلوريد المنجنيز (MnF_2) أو (SiO_2). التغطية بالأكليريك أو بالتيفلون تم استخدامه كذلك. التيفلون (Teflon) غير عملي نظراً لأن خواصه الكهروستاتيكية تجعله جاذب للغبار. الأكليريك (Acrylic) لا يقاسى من هذه المشكلة ويمكن أن يكون طلاءً جيداً حتى عند التعرض الخارجي لمرايا الألومنيوم. الفضة يصعب حمايتها باستثناء كطبقة مرآيا ثانية خلف الزجاج. الطلاء الأكليريك تحمّل أن يحدث له ثقب التي خلالها يمكن أن تتسرب الملوثات وتسبب عدوانية على الفضة. الزجاج المفصض برقاقة ميكرونية (Micro sheet silvered glass) يبدو أن يكون مادة العاكس الواحدة وذلك في حالة تطوير التقنيات المناسبة لتداولها (مثل طبقة أساس من البلاستيك الرقائقي).

توصية خاصة يلزم إضافتها حول العواكس وهي الاقتراب الفوري للمستقبل الغير مفرغ (Non-Evacuated receiver). هذا ينطبق لكل من أطر المجمع الغير مفرغ

المجمعات الشمسية من نوع التركيز البؤري

المركب بالقطع المكافئ والمركز المرحلة الثانية. في هذه الحالات يلزم استخدام ألواح الألومنيوم المؤنودة كمادة عاكس بسبب قدرتها على التحمل، خاصة بالنظر إلى درجة حرارة الحزمة العالية. ولكن التوصيل الحراري العالي للألومنيوم سوف يسبب فقد كبير في الحرارة بالتوصيل الحراري عدا في حالة أخذ الاحتياطات نحو خفض هذا التسرب الحراري وذلك بإيجاد فاصل هوائي صغير بين الانعكاس (Reflection) والماص، وباستخدام طبقة رقيقة من الألومنيوم ما أمكن، أو بفضل الصلب المقاوم المغطى بالألومنيوم (Aluminized stainless steel). الفقد البصري الناتج بالفاصل بين العاكس والماص يتم تحليله في الآتي:

الانتقالية (Transmittance) لمعظم المواد الزجاجية الصقيلة البراقة (Glazing) موضع في الجدول التالي: الزجاج هو أكبر مادة قادرة على التحمل، يجب أن يكون ذو محتوى منخفض من الحديد لتجنب الفقد الكبير بالامتصاص. الزجاج المحفور بالحامض (Etched) ذو أهمية، الطلاء منخفض التكاليف الغير عاكس (Anti-Reflection). يمكن خفض الفقد بالإشعاع بتمشيش السطح (Etching) بنسبة 4% من السطح إلى حوالي 1% عند السقوط العمودي.

عملية مضاعفة الحفر الكيماوي (Etching) يمكنها تحقيق نتائج أفضل، رغم التكلفة العالية. في الإنتاج الكبير، حفر الغطاء المصقول للمستقبل يكون مكلف دائماً بسبب المساحة الصغيرة نسبياً وبسبب هذا الصقل يكون تام الحماية من المجال البيئي ولا يتحلل بفعل تراكم الأوساخ. في حالة توقع الصقل (الترجيح) للتعرض إلى درجة حرارة، فإذ يوصى باستخدام زجاج البوروسيليكايت (Borosilicate) (البيركس) وهي مكلف مقارنة بزجاج النافذة (الحجر الجيري). كذلك عملية الحفر للزجاج البيركس متاحة. الأكليرك مناسب كمادة تغطية لكل المجمع، وخاصة فإنه مادة ممتازة لعدسات الحلقات المتدرجة (Fresnel lenses).

بالنسبة لغطاء المستقبل فإن الأكليريك أقل من الناحية العملية بسبب انخفاض حد الأداء لدرجة الحرارة (حوالي 100°م)، كذلك، فإن التلف بفعل الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن يكون متتالياً كنتيجة تركيز لإشعاع الشمس قريباً من المستقبل.

جدول (1/7) الخواص لحرارية والإشعاعية لمادة الغطاء للمجمع

اسم المادة	معامل الانكسار (n)	القدرة لانتقالية τ $\lambda = 0.2 - 4 \mu m$	حدود درجة الحرارة °م
لكزان (بولى كربونيت)	1.586	72.6	125 - 135 (درجة حرارة الحزمة)
أكيريك	1.49	79.6	90 - 100

المجمعات الشمسية من نوع التركيز البؤرى

تيفلون	1.343	89.8	200 (استخدام مستمر)
Tedlar (فلورو كاربون)	1.46	88.3	110 (استخدام مستمر) 170 (استخدام متقطع)
الصوف الزجاجى	1.54	75.4	100 (الاستخدام المستمر) بسبب فقد 5% فى (τ)
Float Glass	1.518	78.6	650
Temper glass (glass)	1.518	78.6	250-200 استخدام مستمر 275-250 استخدام متقطع
سطح الجير الرائق الزجاج (منخفض أكسيد الحديد)	1.51	87.5	200 للعمل المستمر
الزجاج ذو المحتوى المنخفض من الحديد	1.51	87.5	200 للعمل المستمر
الزجاج يحتوى من أكسيد الحديد 0.1%	1.5	91.5	200 للعمل المستمر

الطلاءات الانتقائية مبينة فى الجدول التالى. فى الوقت الحالى يبدو أن الكروم الأسود (Cr Ox) هو الأفضل. يمكن ترسيبه كهريياً على الصلب، النحاس، الألومنيوم ومعادن أخرى، مقدار $\alpha \approx 0.95$ ، مقدار $\epsilon \geq 0.1$ (عند درجة حرارة تشغيل 100°C) يمكن تحقيقه بإحكام النوع بطريقة جيدة. استخدامه ذو تكلفة مؤثرة فى مجمعات التركيز ذات تركيز منخفض أو متوسط والتي تعمل عند درجات حرارة أعلا من 100°C . وهو ثابت فى كل من الفراغ (Vacuum) والهواء. فى حالة استخدام الزجاج كطبقة سفلية (Substrate) يتطلب عمليات خاصة وطلاءات، أكسيد الكروم والطلاءات المتداخلة متعددة الطبقات متوفرة حالياً فى الإنتاج التجارى.

جدول (2/7) الأسطح الانتقائية

نوع التغطية (الطلاء)	α	ε 100°م	درجة الحرارة °م هواء/ تفرغ	العمر (السنة) هواء/ تفرغ
الأسطح البيئية	0.94	0.1	200/175	30/5
الكروم الأسود	0.96	0.12	200/175	30/15
النيكل الأسود	0.9	0.07	-	-
CuO	0.88	0.15	100	-
الطلاء بالمينا (Enamels)	0.95	0.9 - 0.8	250/250	∞
PbO ₂	0.98	0.3	150/100	20
الصلب المقاوم	0.9	0.4	75	30.30
ألومنيوم بالأنودة	0.95	0.8	250	50
بويات	0.97	0.91	80/70	20 - 5
ألومنيوم - تحويل	0.93	0.35	100/100	20-10

عندما يكون من المهم مقدار (α) أو مقدار (ε) منخفض سوف يتوقف على نوع المجمع وعلى الاستخدام. في المجمعات بدون تفرغ بالتوصل وبالحمل سوف يسود الفقد الإشعاعي عندما تكون (ε) قليل إلى أقل من حوالي 0.2. في مجمعات التفرغ، على الجانب الآخر، توجد حوافز لتحقيق أدنى قيم ممكنة لمقدار (ε) على أساس أن (α) لا تكون أقل من 0.85 - 10 الطلاءات الأفضل بفضل أن تكون نتيجة للأبحاث المكثفة.

عند تفسير القيم المستخلصة لـ (α) ، (ε) فإنه يجب أن يؤخذ في الاعتبار النقط التالية:

1- (α) تتوقف على الطيف الشمسي الذي تم افتراضه.

2- (α) سوف تقل عموماً مع زاوية السقوط، ولكن عادة قيم السقوط العمودية يتم استنتاجها. في مجمعات التركيز زاوية السقوط لبعض الأشعة عند الماص سوف تحيد بشدة من الاتجاه العمودي (بـ 30 إلى 90° طيفاً لبصريات المركز). الكروم الأسود يحافظ على الامتصاص العالي حتى 60°، ولكن الطبقات المتداخلة المتعددة تميل إلى تهبط بشدة نحو 45°.

3- (ϵ) تزداد مع درجة الحرارة، بسبب الحيود الطيفي لإشعاع الجسم الأسود وبسبب التغيرات في خواص السطح.

4- عدد واحد مثل (ϵ/α) لا يحقق توصيف مناسب للسطح الانتقائي (وهو يعين فقط درجة حرارة الركود في الفراغ).

لأغراض الحوار، ينقسم العاكس إلى جزئين.

1) بطانة عاكسة.

2) الغلاف، الحامل لمنشأ التوجيه.

البطانة: يكون مطلوب استخدام مادة عاكسة ذات أقصى قوة انعكاس طيفي تزيد عن فترة الاستخدام المرتبطة بالتكلفة. كذلك، توجد احتمال تجديد البطانة بوضع طبقة جديدة من شريط البلاستيك العاكس.

الغلاف والمنشأ الحامل، وهو يؤثر على معامل الاعتراض (Intercept factor) وعمل المجمع يتوقف على قدرة المنشأ على المحافظة على شكل وتوجيه العاكس. نظراً لأن التوجيه والشكل هما من العوامل الهامة، فإنه يجب مراعاة النقاط التالية عند التصميم.

1- الغلاف والمنشأ يجب أن يحملوا في مختلف الأوضاع بحيث وجود أدنى تشويه بسبب الوزن.

2- تأثيرات الرياح.



الفصل الثامن

اختبار الأداء للمجمعات
الشمسية

Per formance testing of
solar collectors

مقدمة :

الاختبارات القياسية والطرق المتعلقة بها توفر أساس متساوي لمقارنة أداء مختلف أنواع المجمعات وأساس قوى لتصميم واختبار المعدة. طريقة اختبار الأداء التي سيتم تناولها تم استخدامها على نطاق واسع. طريقة القياس ووسائل القياس:

1- قياس الإشعاع الشمسي:

سيتم استخدام مقياس الإشعاع السماوي (Pyranometer) لقياس إجمالي الإشعاع قصير الموجة من كل من الشمس ومن السماء. يتم تركيبه على سطح موازي لسطح الجامع بالطريقة حيث لا يسبب سقوط ظل على لوح الجامع. يجب الحرص دائماً نحو تجنب الجهاز للصدمات الميكانيكية أو الاهتزاز أثناء الإنشاء. يجب توجيه جهاز قياس الإشعاع السماوي بحيث أن الوصلات الاضطرارية أو الوصلات تكون موضوعة إلى الشمال من سطح الاستقبال (في نصف الكرة الشمالي) أو شكل آخر مظلل. هذا يقلل التسخين للوصلات الكهربائية بالشمس.

يجب الحرص كذلك نحو خفض الطاقة الإشعاعية والمنعكسة من المجمع الشمسي على مقياس الإشعاع السماوي. بعض أجهزة مقياس الإشعاع السماوي تباع بغطاء الحماية (Shields). يتم ضبط هذا بحيث أن أعلا نقطة على الغطاء الحاجز تقع موازية ل/ و إلى الأسفل تماماً لمستوى البطارية الحرارية (Themopile). بعض أجهزة القياس للإشعاع السماوي لا يتم إمدادها بذراع الحماية، وهذه تكون معرضة للخطأ بسبب الانعكاسات بالإشعاع التي تتبع أسفل مستوى البطارية الحرارية. كما سبق ذكره في حالة مجمعات التركيز، الذي يتم قياسه هو فقط حزمة الإشعاع (Beam Radiation) حيث لهذا يستخدم مقياس الإشعاع السماوي.

2- قياسات درجة الحرارة:

درجة حرارة للمائع الناقل الداخل والخارج من المجمع الشمسي يتم قياسه بأحد الطرق الآتية:

أ- جهاز القياس بالمزدوجة الحرارية (Thermocouples)

ب- ترمومترات المقاومة (Resistance thermometers).

فرق درجة الحرارة لمائع الانتقال خلال المجمع الشمسي يتم قياسه بالآتي:

1- بطارية حرارية موصلة على التوالي (Thermopile) حيث الهواء أو الماء كمانع انتقال.

2- ترمومترات المقاومة المعايرة (Calibrated) المتصلة في ذراعين لدائرة مقنطرة (Bridge circuit) (فقط عندما يكون السائل هو مائع الانتقال). يتم عمل البطارية الحرارية الموصولة على التوالي (Thermopile) من سلك جهاز القياس بالمزدوجة الحرارية من النوع (T) المأخوذ من حوض فردي (Single Pool). البطارية الحرارية الموصلة على التوالي (Thermopile) تكون محتوية على عدد من الوصلات زوجي.

قياس درجة الحرارة هو عملية ذات أهمية خاصة عند تعيين خواص الأداء لإطار التسخين الشمسي. الطريقة المحددة المستخدمة تتوقف على مجال درجة الحرارة وعلى دقة ونوع الإشارة (Signal) المطلوبة. سوف نناقش فقط المحساس الكهربى (Electrical sensors). لقياس درجة الحرارة العالية يتم استخدام طريقتين وهما الترمومترات ذات المقاومة المعدنية والترمومترات ذات القياس بالمزدوجة الحرارية (Thermocouples).

ترموتر المقاومة يستخدم عنصر معدنى مثل البلاتين أو النحاس كمحساس (Sensor). مقاومة العنصر تزداد مع زيادة درجة الحرارة. معامل درجة الحرارة للمقاومة يعرف بالآتى:

$$B = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

حيث:

R = المقاومة عند درجة حرارة (T). بالنسبة لمعظم المعادن B تكون دلالة متغيرة ببطئ لدرجة الحرارة.

كذلك، المعامل عادة يكون صغيراً بما يكفى بحيث أن بعد مجالات درجة حرارة محدده يمكن تكامل المعادلة السابقة كالآتى:

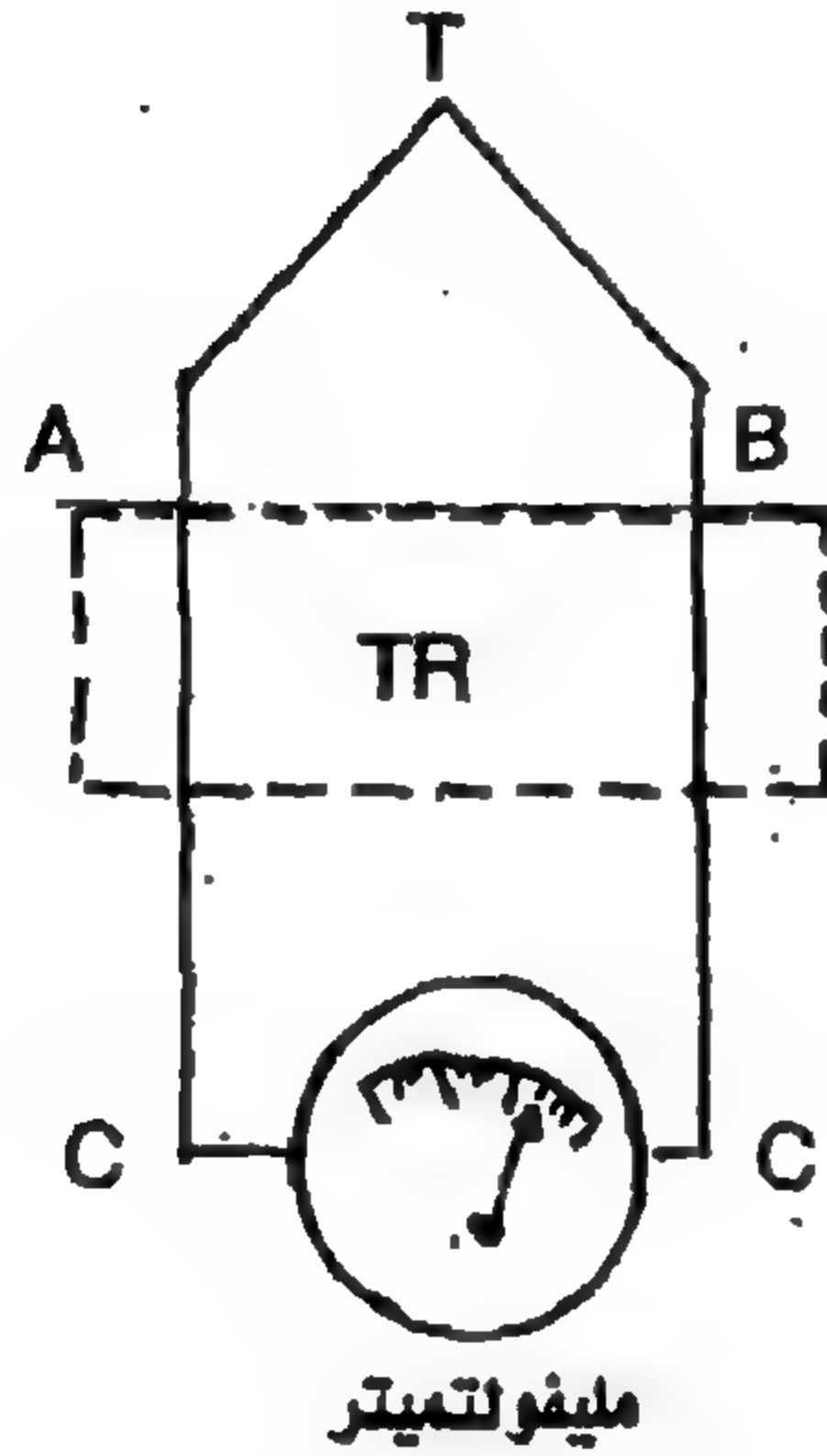
$$R = R_0 (1 + B (T - T_0))$$

حيث :

R_0 = المقاومة عند درجة حرارة استرشادية، T_0 ، فى مجال العمل.

يمكن تعيين درجة الحرارة بقياس مقاومة العنصر.

التجهيز الثانى لقياس درجة الحرارة المرتفعة هو الوصلة المعدنية بالمزدوجة الحرارية (Themocouple). عند توصيل معدنين غير متماثلين لتكوين وصلة واحدة، فإنه يتم إنتاج فرق جهد الذى مقداره يزداد مع زيادة درجة الحرارة. ترمومتر المزدوجة الحرارية يمكن تصنيعه من سلكيين من معدنين غير متماثلين (مختلفين) من معادن (B) , (A) مع زوج من الأطراف للأسلاك المعدنية (C). المعادن (A) , (B) يمكن أن تكون من العناصر مثل الحديد والنيكل، أو من السبائك مثل سبيكة Constantan (نحاس ونيكل) و (Chromel) وهو سبيكة من الكروم والألومنيوم. السلك الموصل (Lead) فى الأسلاك يكون نمونجياً من النحاس. تنظيم المزدوجة الحرارية موضح فى الشكل (1/8).



شكل (1/8) المزدوج الحرارى ذو الوصلة البسيطة . AB,BC
تظل عند درجة حرارة (TR)

الوصلة (AB) هى وصلة الاختبار المستخدمة لقياس درجة الحرارة. الوصلات (AC) و (BC) هى وصلات استرشادية وهى تظل عند درجة حرارة إرشادية ثابتة (TR). مع زيادة درجة حرارة وصلة الاختبار، فإن فرق الجهد خلال السلك الموصل (Lead) يزداد كذلك. معدل الزيادة فى فرق الجهد مع درجة الحرارة يسمى المزدوجة الحرارية لمعاملها (Seebeck).

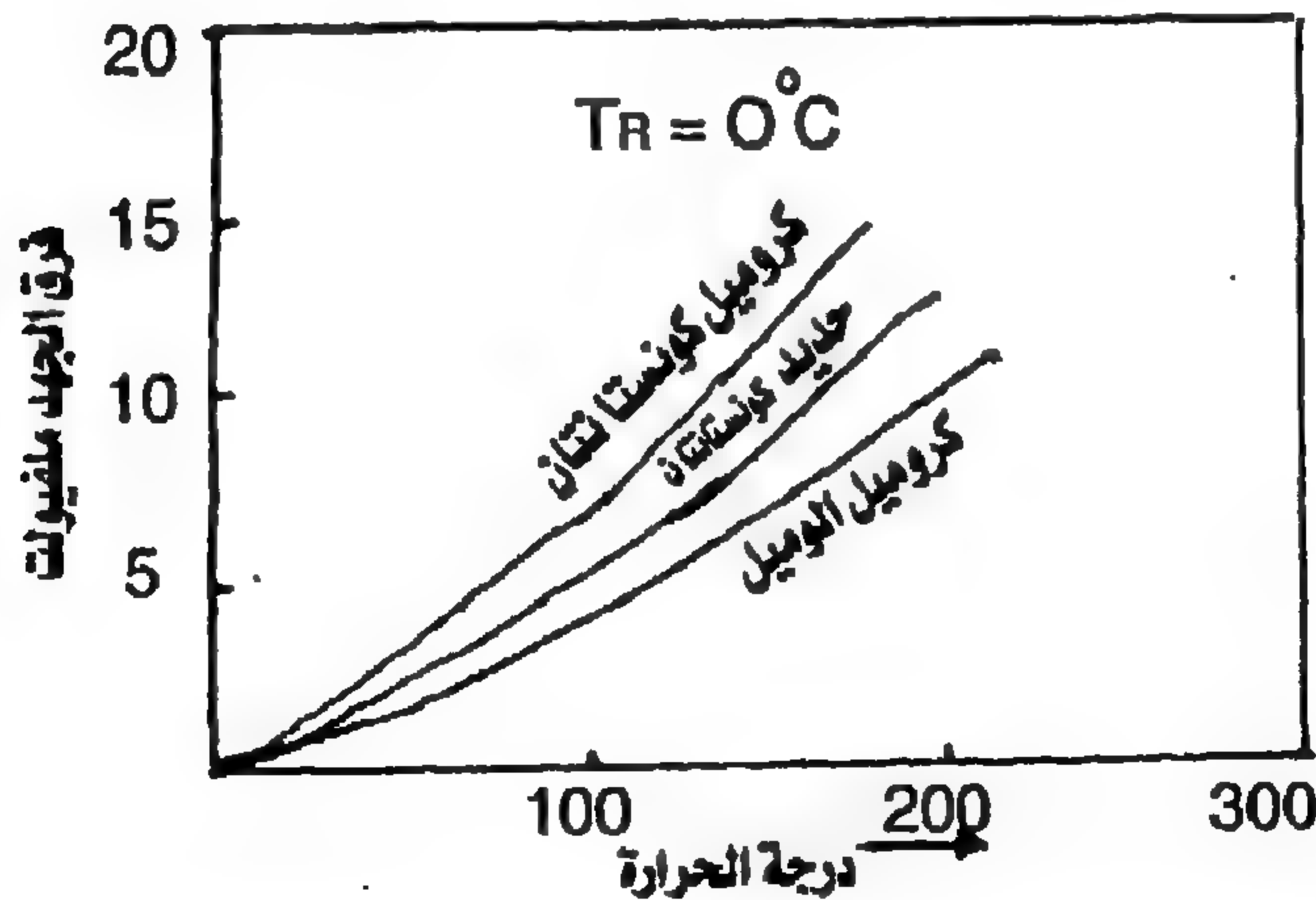
$$(1) \quad \alpha_{AB} = \frac{dV_{Ab}}{dT}$$

هذا المعامل يتوقف على المعادن المكونة للوصلة ويتغير إلى حد ما مع درجة حرارة وصلة الاختبار. ولكن، ليس له علاقة بدرجة الحرارة الاسترشادية والمعدن المستخدم في السلك الموصل (Lead). نظراً لأن معامل (Seebeck) يتوقف على درجة حرارة وصلة الاختبار فإن المعادلة (1) الأخيرة لا تؤدي إلى علاقة طولية بين فرق الجهد ودرجة الحرارة. بالنسبة لمعظم الوصلات (α_{AB}) تكون دلالة متغيرة ببطئ لدرجة الحرارة بحيث أن تلك المعادلة الأخيرة (1) يمكن أن يتم تكاملها كسلسلة طاقة في الشكل

$$V_{AB} = a (T - T_R) + b (T - T_R)^2 + C (T - T_R)^3 + \dots$$

حيث a, b, C وهكذا هي ثوابت لمجالات درجة حرارة التشغيل، فإذا كان فرق درجة الحرارة ($T - T_R$) صغيراً فإن التقريب الطولي الذي يتضمن الجزء الأول من المعادلة السابقة يكون عادة كافياً.

عادة تستخدم نقطة التجمد (Icepoint)، صفر درجة مئوية، كدرجة حرارة إرشادية، وصلة الدليل يمكن غمرها في خليط من الماء والتجمد أو يمكن تثبيتها على السطح حيث درجة حرارته تظل عند نقطة التجمد. قريباً، ثم تطوير نقطة تجمد (Ice-Point) اليكترونية كدليل والتي تتكون من دوائر تعويض درجة الحرارة التي تحاكي ألياً حالات نقطة التجمد بصرف النظر عن درجة حرارة المجال المحيط. تغير (V_{AB}) و (T) لثلاث وصلات مختلفة. موضح في الشكل (2/8).



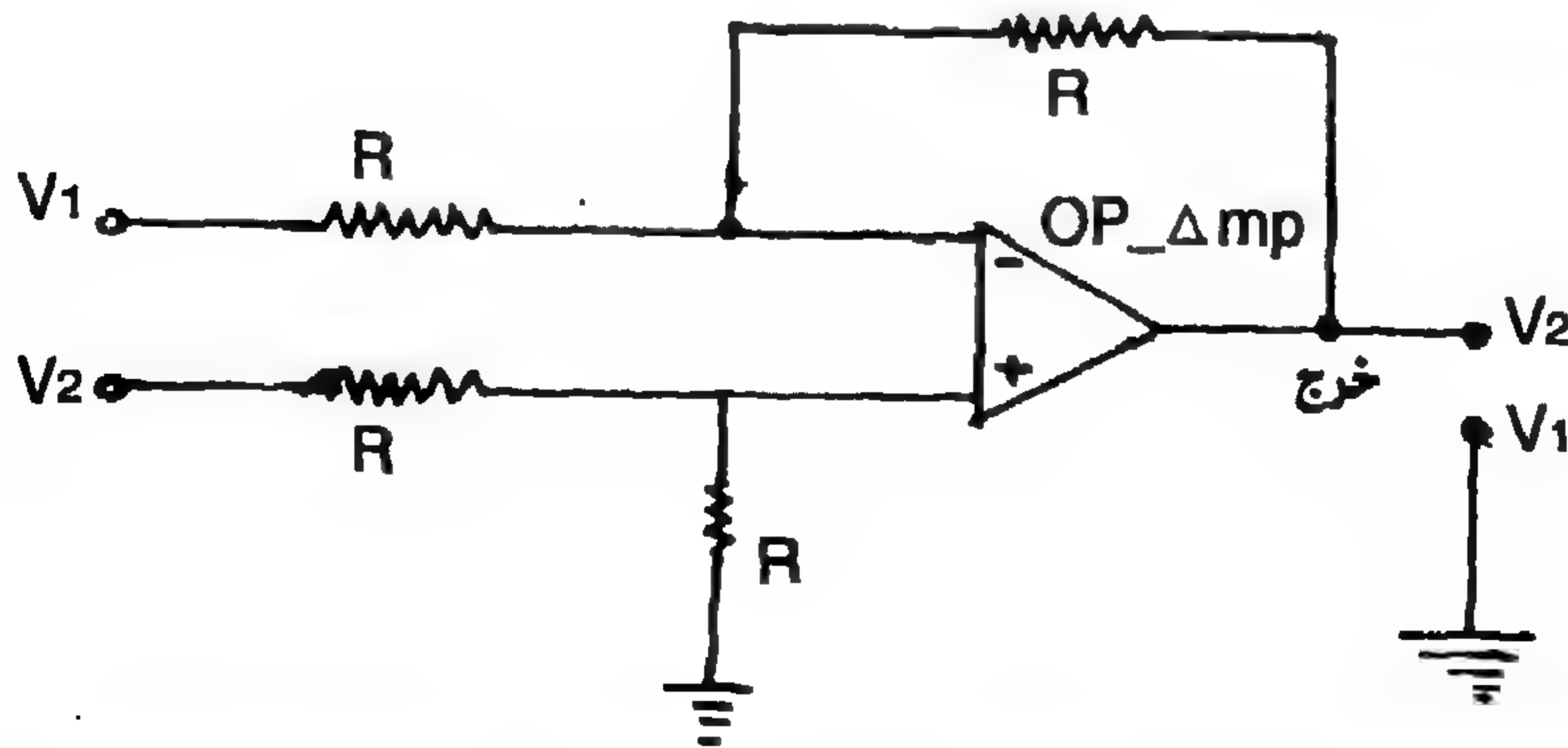
شكل (2/8) جهد المزدوج الحراري مقابل درجة الحرارة لمختلف المواد -

الوصلة الإرشادية في كل حالة هي $T_R = \text{صفر } ^\circ\text{م}$

المزدوجة الحرارة (Thermocouple) من الصعب استخدامها عندما تكون درجة الحرارة المطلوب قياسها قريباً من درجة الحرارة الإرشادية حيث أن إشارة الخرج

(Out put signal) صغيرة جداً بما يتطلب استخدام مضخم تيار مستمر للحصول على القراءة على الفولتميتر العادي. مشاكل يمكن أن تثار بسبب كلا من انحراف المضخم وفروق الجهد الثنائية الكهروحرارية (Secondary thermoelectric voltages) الناتج بفروق درجة الحرارة في الدائرة. يكون من الممكن أحياناً استخدام سلسلة من المزدوجات الحرارية والتي تسمى (Thermopile) لتكبير العلاقة (Boost signal) ولكن، في معظم الحالات عندما تكون درجة الحرارة ما بين نقطة الثلج ونقطة الغليان للماء يلزم قياسها، يكون من المناسب استخدام أقطاب موصلة شبه ميكرونية (Semiconductor probes). النوع المستخدم عادة هو المقاوم الحراري (Thermister) وهو مقاوم خزفي شبه موصل تقل مقاومته بارتفاع درجة الحرارة. المقاوم الحراري الخزفي يصنع من مادة شبه موصلة حيث معامل مقاومة درجة الحرارة يكون كبيراً وسلبياً (Large and negative) المعامل هو عشرة أضعاف لذلك للمعدن، بما يجعل المقاوم الحراري عالي الحساسية للتغيرات في درجة الحرارة. على عكس ما هو بالنسبة للمعدن فإن مقاومة المقاوم الحراري تزداد بشدة مع زيادة درجة الحرارة. العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة ليست خطية تماماً. باستخدام زوج من المقاوم الحراري المصمم خصيصاً، فإنه يمكن الحصول على علاقة فرق جهد التي هي قريباً خطية في درجة الحرارة.

عند اختبار قطاع شمسي (Solar panel)، فإننا عادة نحتاج الحصول على إشارة تقابل الفرق بين درجتين من درجات الحرارة مثل $(T_{fe} - T_{ff})$. يتم الحصول على ذلك بسهولة باستخدام دائرة تعرب المكبر لاختلافات (Differencing amplifier) الشكل (3/8) المكبر الأساسي المستخدم في الاختلاف يسمى المكبر العملي (Operational amplifier).



شكل (3/8) باستخدام مضخم تشغيل لإنتاج جهد الخرج يساوي الفرق بين مدخلين
فرق الجهد

وتلك متاحة في العديد من الدوائر التكاملية. المقاومات الخارجية تسمح باستخدام مكبر التشغيل (Operational amplifier) كمكبر اختلاف بحيث يمكن إنتاج خرج جهد مساوى للفرق بين اثنين دخل إشارات (Input signals). باستخدام مضخمات الاختلافية (Differencing amplifiers) لنقط مختلفة في نظام التسخين الشمسى.

3- قياسات تدفق السائل:

معدل التدفق لمائع الانتقال عندما يتم قياس السائل بأحد الطرق الآتية
أ- وزن الخزان (Weight tank): حيث الاحتياجات المناسبة تم مراعاتها
لخفض الأخطاء بسبب التبخير.

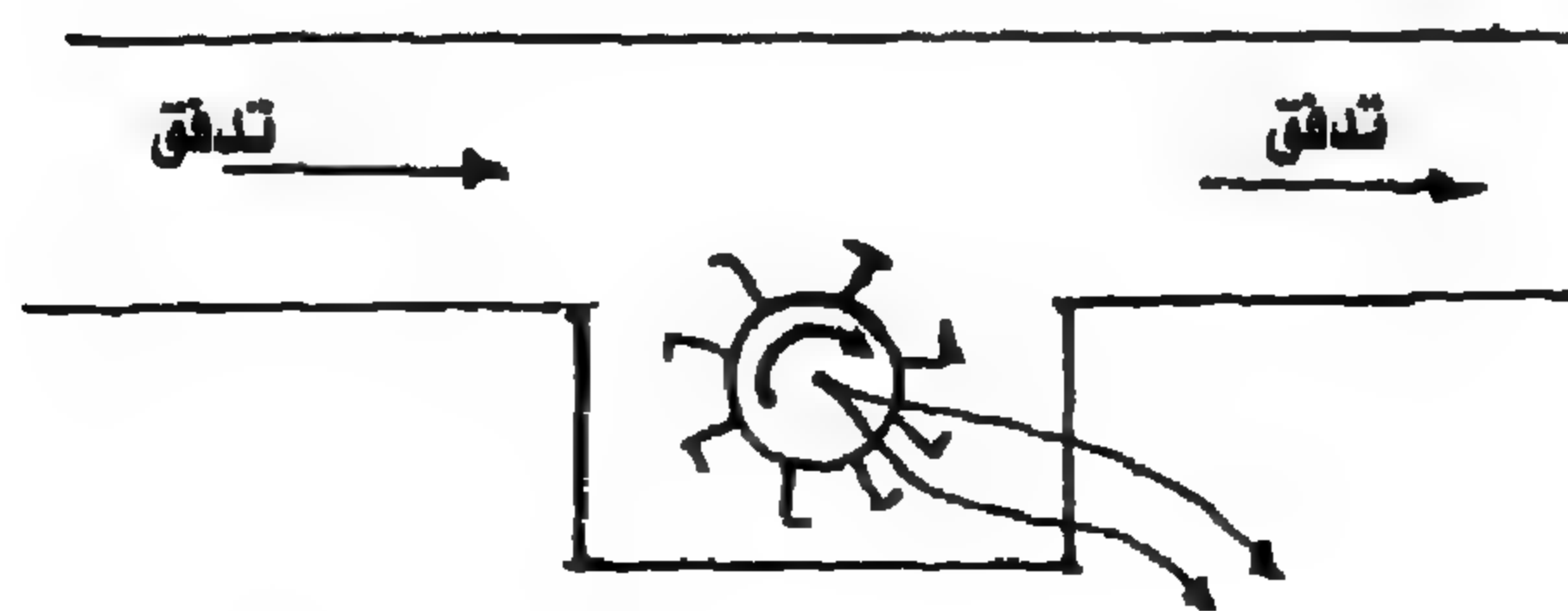
ب- مقياس التدفق بالإزاحة الموجبة.

ج- معدل التدفق بالتربين (فقط عندما يكون سائل الانتقال هو الماء النقى أو أن يكون قد تم معايرته بسائل الانتقال).
د- مقياس التدفق المغناطيسى.

إنه من الصعب إلى حد ما قياس تدفق الكتلة لمائع أكثر من درجة حرارتها. معدل التدفق أفضل تعيين له باستخدام حساس، فى الخط (In line sensor) أى، الحساس الذى يوضع فى مسار التدفق ويقاس مباشرة معدل التدفق. سوف نتناول هنا تلك المحساسات التى يمكن استخدامها لإنتاج الإشارات الكهربائية. أحد الأنواع الأساسية للحساس المباشر أو فى الخط هو عجلة البدال (Paddle wheel) التى توضع فى مسار التدفق مباشرة. السرعة الزاوية للعجلة تتناسب مع سرعة تدفق المائع، والذى بالتالى يمكن أن ترتبط بمعدل حجم التدفق (مثال، متر مكعب فى الثانية). يتم قياس السرعة الزاوية بواسطة التاكوميتر (Tachometer) وهو عدد دورات أو مقياس السرعة الزاوية لعمود دوار) الذى ينتج إشارة تتناسب مع معدل حجم التدفق. معدل تدفق الكتلة يتعين من معدل التدفق الحجمى (V) باستخدام العلاقة

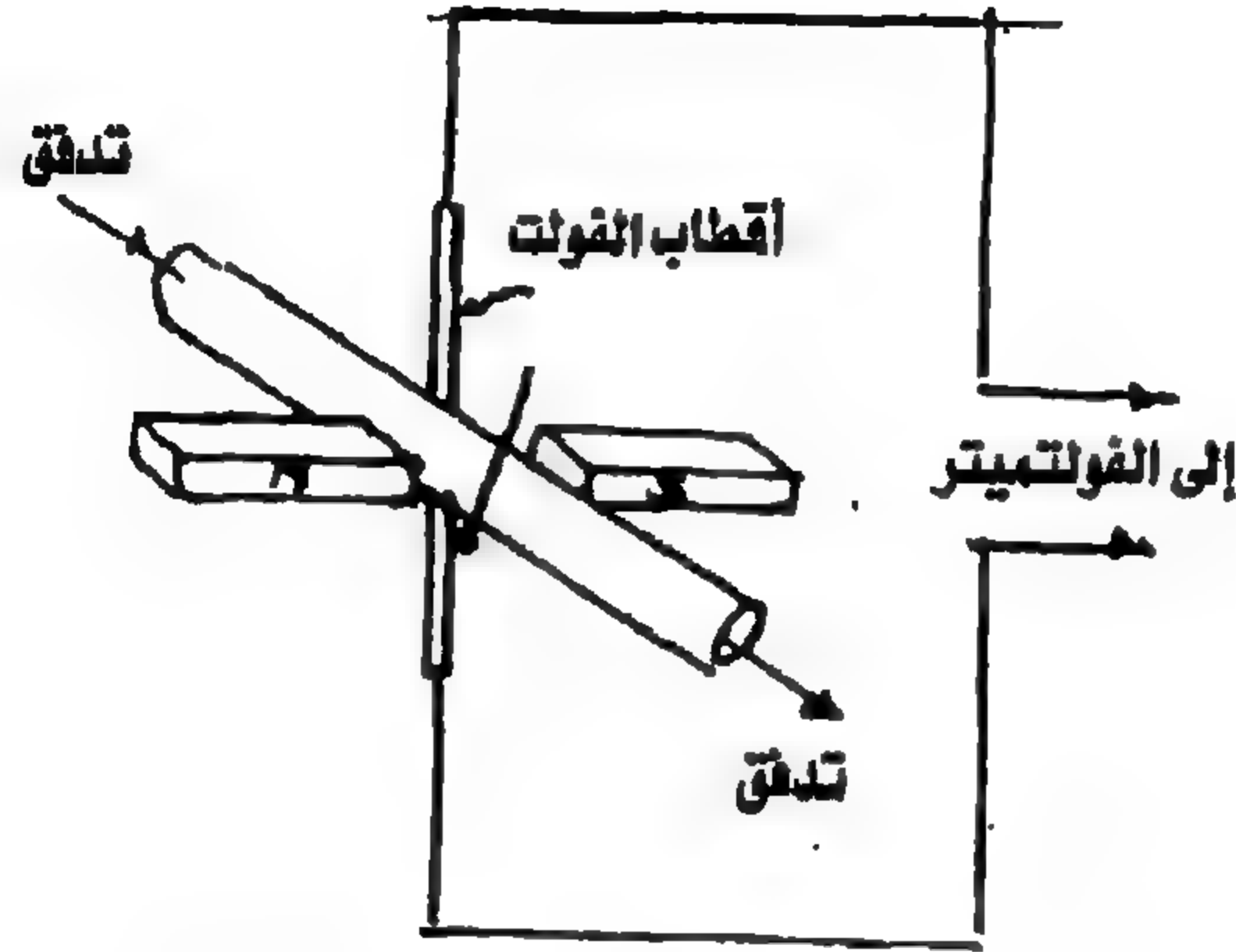
$$M = PV$$

حيث P = كثافة الكتلة للمائع.



شكل (8/4) مقياس سرعة الرياح بمقياس التدفق

نوع آخر للمحساس في الخط (In line sensor) وهو النوع المغناطيسي. ليس له أجزاء متحركة ويفيد في قياس معدلات التدفق لسائل التوصيل. حتى أن الماء بكمية صغيرة من الملوثات يكون موصل إلى حد ما. عندما يتوقف سائل التوصيل خلال مجال مغناطيسي فإنه يتم إحداث فرق جهد يتناسب مباشرة مع سرعة التدفق كما في الشكل (5/8).



شكل (5/8) مقياس التدفق المغناطيسي

علامة فرق الجهد هذه يمكن استخدامها لبيان معدل التدفق.

يوجد عدد من تجهيزات أخرى لقياس معدلات التدفق. أحد مثل هذه التجهيزات يتكون من زوج من مجسات درجة الحرارة (Temperature probes) موضوعين في أجناب متقابلة (متعاكسة) من عنصر التسخين. العنصر والمجس يوضعوا مباشرة في مسار التدفق. المائع الذي يترك عنصر التسخين يكون بالضرورة أكثر سخونة مقارنة بالمائع الداخل. الفرق في درجة الحرارة في المائع يقل مع زيادة معدل التدفق والعكس صحيح. لذلك، فإن علاقة الفرق في درجة الحرارة بواسطة المجسات يمكن استخدامها لتمثيل معدل التدفق.

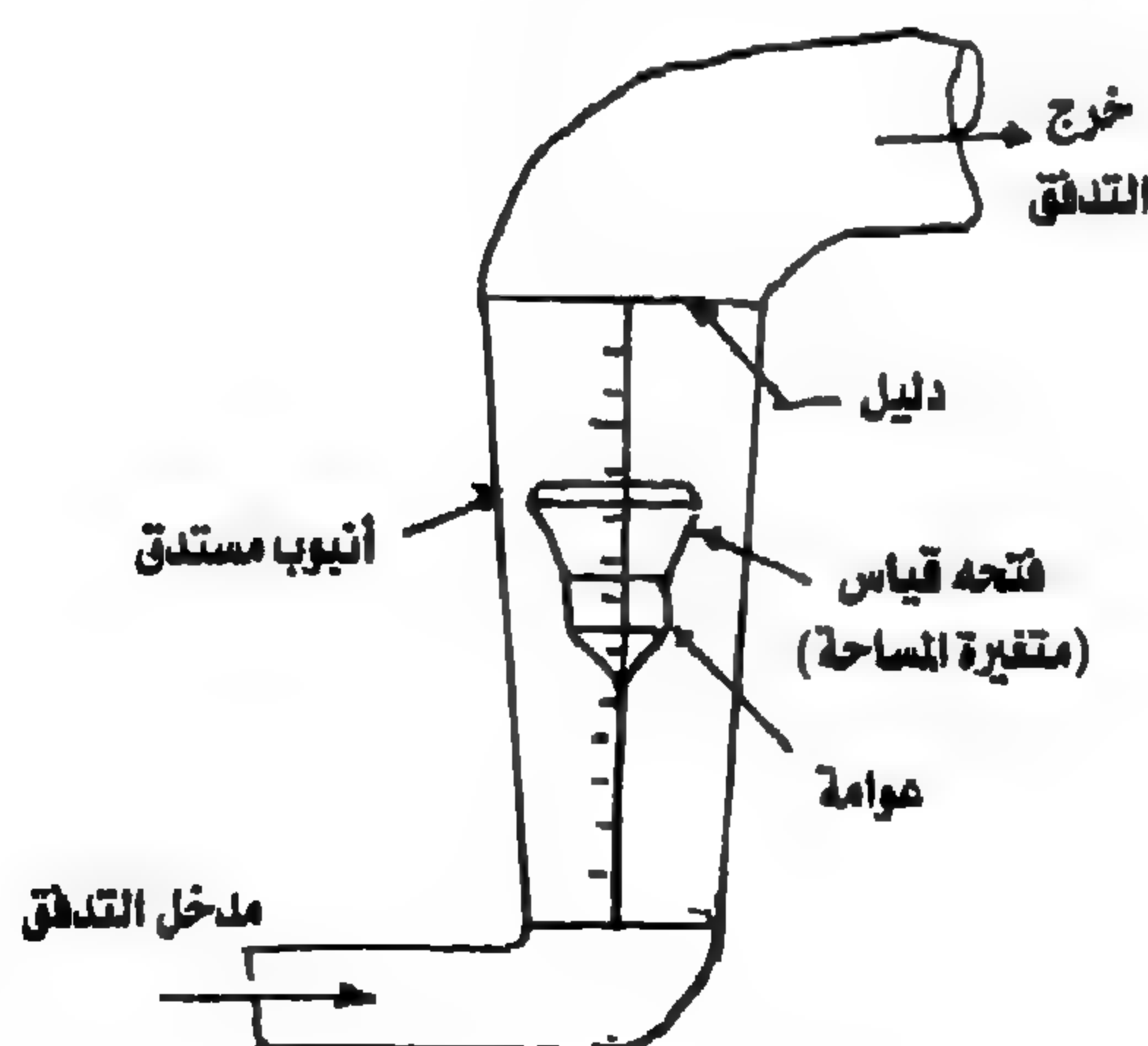
نوع آخر من التجهيزات المستخدمة لتحديد معدل التدفق بقياس الضغط، عند تدفق سائل من قناة واسعة إلى أخرى ضيقة فإن سرعة التدفق تزداد، بما ينتج عنه انخفاض في الضغط. الفرق في الضغط بين نقطة في القناة الواسعة وأخرى في القناة الضيقة يزداد مع زيادة معدل التدفق. لذلك، فإن إشارة فرق الضغط يمكن استخدامها لتمثيل معدل التدفق. مع إهمال الفقد الحراري والفقد بالاحتكاك فإن الطاقة الكلية تظل ثابتة، لدرجة أن الزيادة في الطاقة الحركية يتم تعويضه بخفض في الضغط. الفقد في الضغط يتم قياسه بواسطة مقياس الضغط (monometer) المستخدم لقياس فرق الضغط والسرعة ليتداخل من فرق الضغط. مثل تلك التجهيزات تسمى تجهيزات الإعاقعة

(Obstruction devices) وهى أحيانا تسمى مقاييس الضغط (Head meters) بسبب فقد فى الضغط الرأسى أمثلة لهذا النوع هى الفتشورى (Venturies) الفنية والبزبوز (Nozzles) الفتحات (Orifices).

عند استخدام الهواء كسائل الانتقال، وحيث يكون معدل تدفق الهواء كبيرا، فإنه يتم القياس بجهاز الفنية (Nozzle) بسرعة الهواء الماء خلال الفنية يتم تعيينها إما بقياس سرعة الضغط الرأسى (Velocity head) بواسطة أنبوب بتوت (Pitot Tube) أو بزيادة فقد فى الضغط الاستاتيكي خلال الفنية بواسطة جهاز قياس الضغط (Msnometer). وحيث يكون معدل تدفق الهواء صغيرا بحيث أن البزبوز المنشأ طبقا للمتطلبات السابقة سيكون له قطر زور أصغر من 2.5 سم. والشكل السابق لا يتم استخدامه ويمكن استخدام جهاز قياس تدفق الهواء مثل الفتشورى أو الثقب (Orifice).

مقياس الدوران: (Rotameter)

مقياس الدوران هو تجهيز لقياس التدفق والتى هى أساسا مقياس الثقب (Orifice Meter) بخفض ثابت فى الضغط وتغير فى مساحة الثقب. الشكل (6/8). التدفق يدخل قاع الأنبوب العمودى. المستدق (Tapered) ويسبب العوامة (Float) تتحرك إلى أعلا. العوامة ترتفع إلى نقطة فى الأنبوب بحيث أن قوى السحب (Drag) يتم موازنتها بقوة الطفو والوزن. مكان العوامة فى الأنبوب يتم عندئذ تسجيله كبيان لمعدلات التدفق. المقياس الدوران (Rotameter) لقياس سرعة دوران الموائع له ميزة أساسية مقارنة بالأنواع الأخرى من مقاييس الاختناق فى أن التدرج يتناسب مع التدفق، حيث قراءة التدرج للمانوميتر المتصل بالفتحة يتناسب مع مربع التدفق. لذلك، لنفس طول التدرج، فإن مجال التدفق للمقياس الدوار يكون أكبر كثيرا.



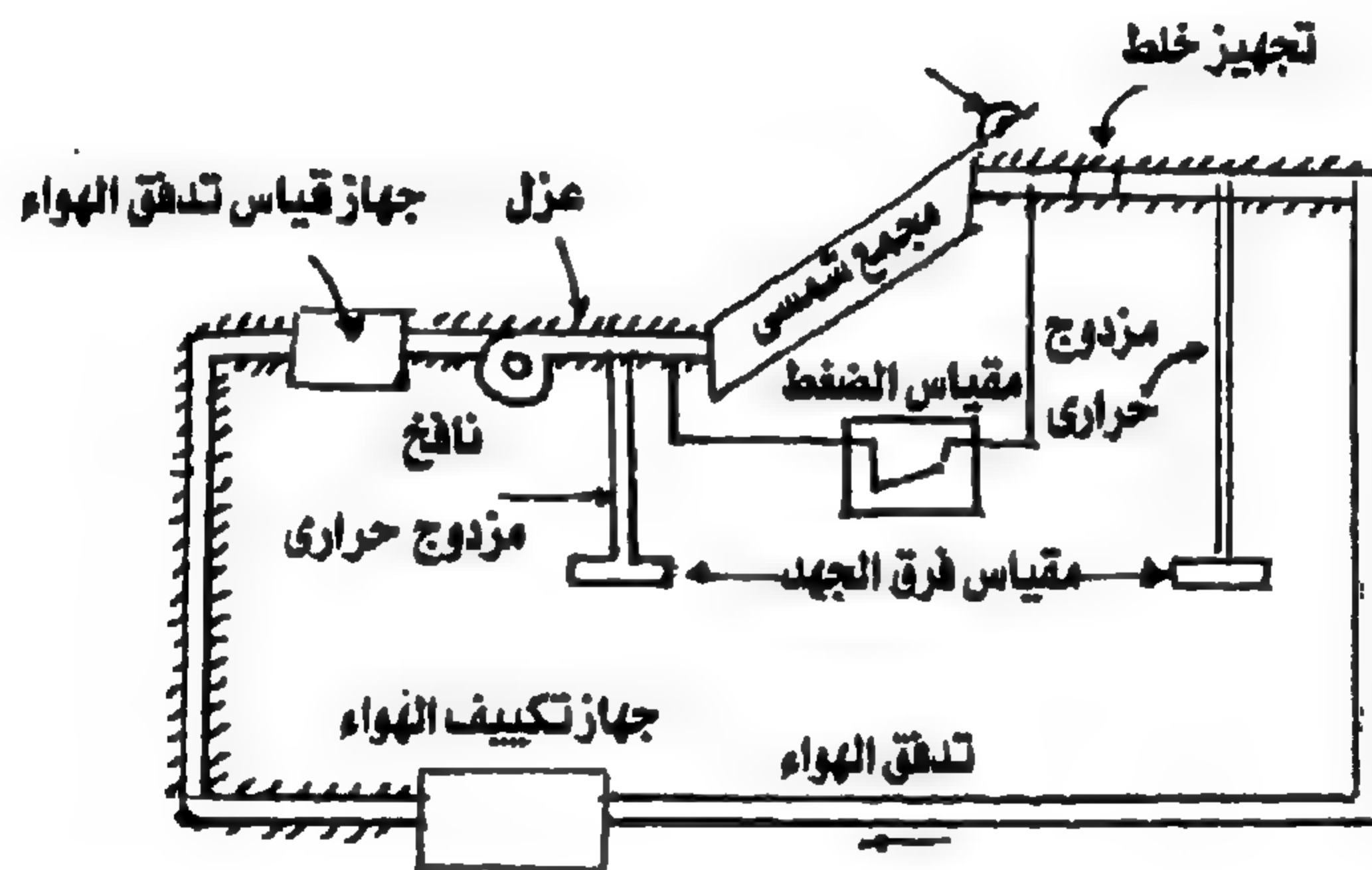
شكل (6/8) مقياس التدفق الدوار

بحيث أن معدل تدفق الكتلة يمكن ضبطه إلى القيمة المطلوبة. درجة حرارة الدخول يتم كذلك ضبطها وإحكامها بواسطة مبادل حراري وسخان كهربائي.

يتم تركيب المجمع الشمسي على إطاره القوي وعند زاوية ميل مسبق تحديدها (للمجمعات الشمسية الثابتة) أو الإطار المتحرك (للمجمعات المتحركة) و مثبت جيداً مع الأساس بحيث أن المجمع يمكنه الإمساك والاحتفاظ بوضعه الزاوي الاختياري مقابل الهبوب القوي للرياح.

مقياس الإشعاع السماوي (Pyranometer) يتم تركيبه على السطح موازياً لسطح المجمع بالطريقة حيث لا يلقي ظلال على لوح المجمع. يتم قياس درجة الحرارة والضغط كما سبق ذكره.

شكل الاختبار للمجمع الشمسي المستخدم للهواء كمجال لمائع الانتقال موضع في الشكل رقم (8/8).



شكل (8/8) مخطط اختبار المجمع الشمسي عندما يكون مائع الانتقال الحراري هو الهواء

هنا المجمع الشمسي كذلك يتم تركيبه على إطاره القوي عند زاوية سبق تحديدها (للمجمعات الثابتة) أو الإطار المتحرك (للمجمعات المتحركة) ومثبت بشدة في الأساس بحيث أن المجمع يمكنه إمساك وضعه الزاوي المختار مقابل الهبوب الشديد للرياح. سخان الهواء يمكن أن يكون له شكل مختلف.

مقياس الإشعاع الشمسي يتم تركيبه كما تم وصفه في الحالة السابقة. يجب الحرص نحو خفض طاقة الانعكاس والإشعاع من المجمع الشمسي على مقياس الإشعاع الشمسي.

مسار الهواء الداخل (ماسورة) ما بين جهاز مقياس تدفق الهواء والمجمع الشمسي، بحيث أن يكون له نفس مساحة المقطع أو الأبعاد مثل مجموعة مواسير الدخول (Inlet Manifold) نحو المجمع الشمسي، أداء سخان الهواء يتوقع أن يتأثر بأعمال المواسير الداخلة والخارجة من المجمعات الشمسية أكثر كثيراً عنه في حالة المجمعات الشمسية المستخدمة للسائل كمجال انتقال.

العامود الحراري (البطارية الحرارية Thermopile) يتم استخدامه لقياس الفرق بين درجة حرارة دخول الهواء ودرجة حرارة خروج الهواء للمجمع الشمسي. حيث أن المائع هو الهواء، فإنه يتم تأكيد أنه تام الخلط عند المخرج، من سخان الهواء قبل قياس درجة حرارته. الخلط يتم بمساعدة ريش (Vanes). درجة حرارة كلا من دخول وخروج سخان الهواء يتم قياسها عند عدد من الأماكن عبر مقطع الماسورة (Duct). ضغط هواء الماسورة (Duct) (الهبوط في الضغط الاستاتيكي) يمكن قياسه باستخدام مقياس الضغط. تدفق الهواء يمكن قياسه بواسطة الفنية (Nozzle)، أو الفتحة (Orifice) أو بواسطة الفتشوري طبقاً للتصميم.



الفصل التاسع

تخزين الطاقة الشمسية

Storage of Solar Energy

مقدمة :

الطاقة الشمسية هي مصدر متقطع للطاقة ويعتمد على الوقت. عموماً احتياجات الطاقة في كثير من الاستخدامات هي كذلك تتوقف على الوقت، ولكن بطريقة مختلفة عن الإمتداد بالطاقة الشمسية. لذلك فإن هناك حاجة ملحوظة لتخزين الطاقة أو منتج آخر للعملية الشمسية، إذا كانت الطاقة الشمسية يجب أن تحقق متطلبات الطاقة. هذه المشكلة حادة خاصة للطاقة الشمسية عند استخدامها في التدفئة المنزلية في فصل الشتاء، بسبب احتمالها الضعيف خلال تلك الفترة. العناصر الرئيسية لنظام عملية الطاقة الشمسية هي المجمع الشمسي، وحدات التخزين، تجهيزات التحويل (مثل المحركات أو مكيفات الهواء)، الأحمال، إمدادات الطاقة الإضافية ونظام التحكم. خواص وأداء كل من تلك العناصر يكون مرتبطاً بالأخرى.

أقصى طاقة لنظام تخزين الطاقة يتوقف عموماً على العوامل الآتية:

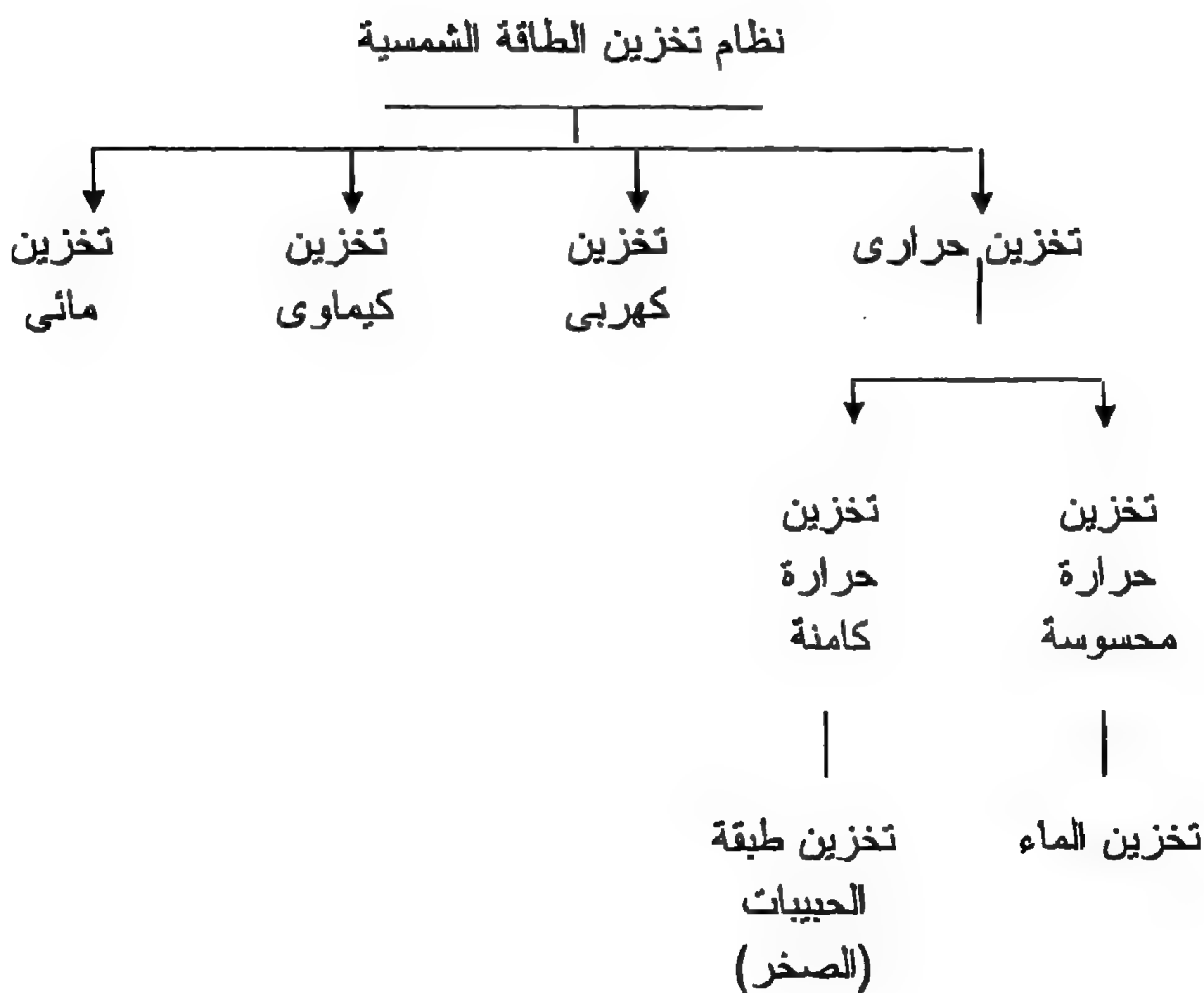
- 1- الوقت المتوقع اعتماده على احتمالات الإشعاع الشمسي.
 - 2- طبيعة الأحمال المتوقعة على العملية.
 - 3- درجة الاعتمادية المطلوبة للعملية.
 - 4- الطريقة التي يتم بها الإمداد بالطاقة الإضافية.
 - 5- التحليل الاقتصادي الذي يعين عادة مقدار الأحمال المستخدمة بواسطة الطاقة الشمسية والأخرى بواسطة مصادر الطاقة الإضافية.
- تخزين الطاقة يمكن أن يكون في شكل حرارة ملموسة لمجال صلب أو لمجال سائل، مثل حرارة الانصهار للنظم الكيماوية أو كطاقة حرارية للمنتجات في التفاعل الكيميائي العكسي. الطاقة الميكانيكية يمكن تحويلها إلى طاقة كامنة أو طاقة وضع (Potential Energy) وتخزينها في سائل على ارتفاع عالي. ناتج العمليات الشمسية بخلاف الطاقة يمكن تخزينه كمثال الماء المقطر من المقطر الشمسي يمكن تخزينه في خزانات لحين الحاجة إليه.

اختيار المجال لتخزين الطاقة يعتمد على طبيعة العملية. بالنسبة لتخزين الطاقة بتسخين المياه كحرارة محسوسة لتلك المياه المخزنة من الطاقة المنطقية. في حالة استخدام المجمعات لتسخين الهواء، فإن التخزين في حرارة ملموسة أو حرارة كامنة أثر في وحدات التخزين تحديداً كما هو مبين مثل الحرارة الملموسة في طبقة الحبيبات للمبادل الحراري. في حالة استخدام العمليات الكيماوية الضوئية (Photochemical) أو الضوئية الفولتية يكون التخزين منطقياً في شكل طاقة كيماوية.

الخواص الرئيسية لنظام تخزين الطاقة الحرارية هي:

- 1- طاقته لوحدة الوزن أو الحجم.
- 2- مجال درجة الحرارة الذي يعمل خلاله أى درجة الحرارة التى عندها يتم إضافة حرارة إلى وإزالتها من النظام.
- 3- طرق الإضافة أو إزالة الحرارة وفرق درجة الحرارة المصاحب لذلك.
- 4- طبقات درجة الحرارة فى وحدة التخزين (Stratification).
- 5- متطلبات الطاقة الإضافة أو سحب الطاقة.
- 6- الحاويات، الخزانات أو العناصر الإنشائية الأخرى المصاحبة لنظم التخزين.
- 7- وسائل إحكام فقد الحرارة من نظم التخزين.
- 8- التكلفة.

أنواع تخزين الطاقة :



نظم تخزين الطاقة الشمسية يمكن تقسيمها عموماً كالاتى:

أ- تخزين حرارى.

ب- تخزين كهربى.

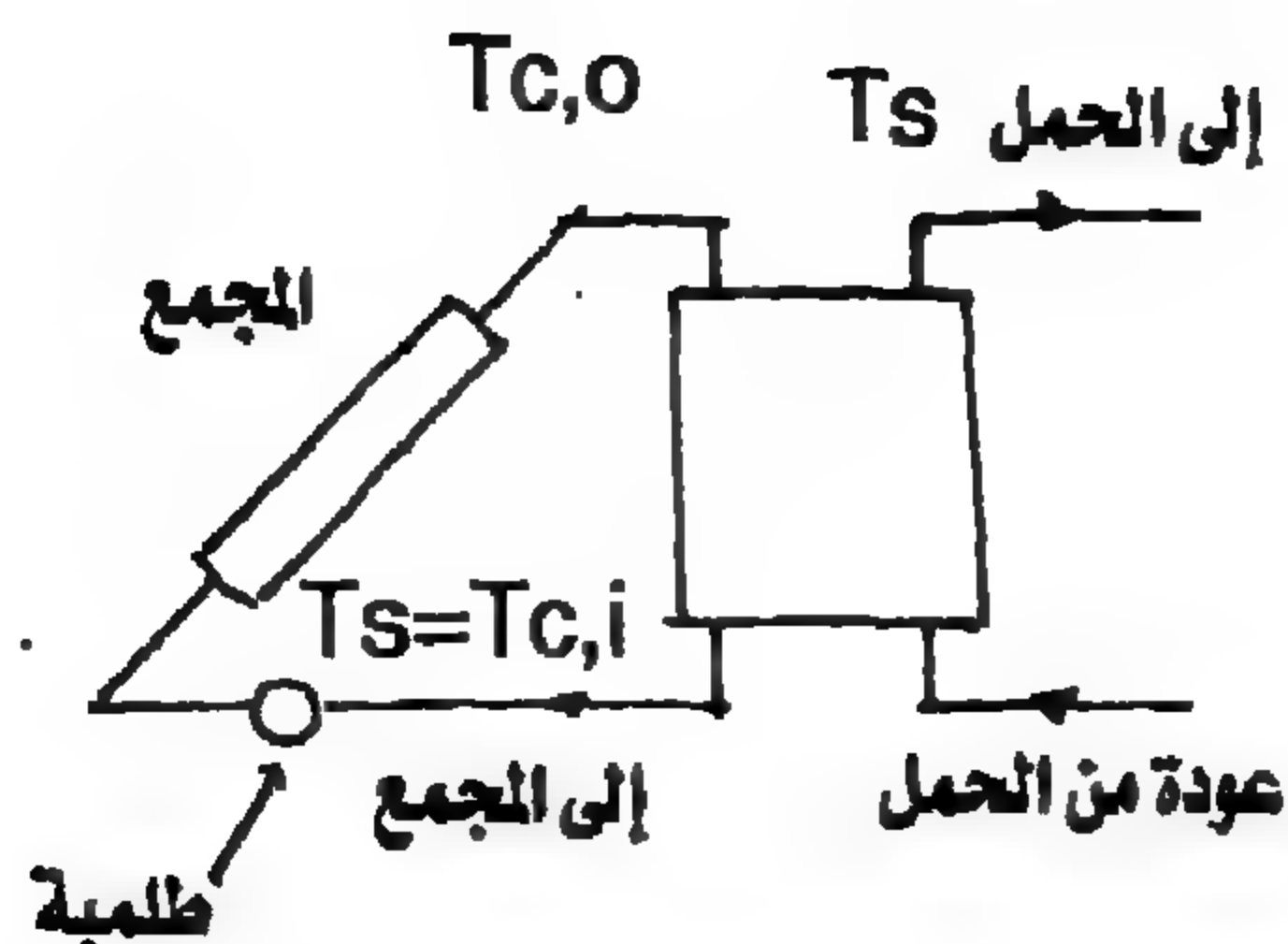
ج- تخزين كيمائى.

د- تخزين مائى (Hydrostorage)

التخزين الحرارى :

يمكن تخزين الطاقة الشمسية بالتسخين، الإذابة أو التبخير للمادة، وتصبح الطاقة متاحة كحرارة عند انعكاس العملية. التخزين يرفع درجة حرارة المادة يسمى تخزين الحرارة المحسوسة (Sensible heat storage). التخزين بتغير المجال مثل التحول من الصلب إلى السائل أو من السائل إلى البخار وهو شكل آخر من الطاقة الحرارية والمعروف بتخزين الطاقة الكامنة (Latent Heat storage)، حيث لا يحدث فيه أى تغير فى درجة الحرارة. من الممكن لتخزين الحرارة بكل من الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة ليتم فى نفس المادة، كما يتم تسخين المادة الصلبة، ثم الإذابة، ثم ارتفاع درجة الحرارة.

تخزين الطاقة الحرارية يكون أساسياً لكل من المياه المنزلية وتطبيقات التدفئة المنزلية وفى نظام التخزين لدرجة الحرارة العالية اللازمة لاستخدامات الطاقة الحرارية. كذلك التخزين مطلوب فى العمليات الصناعية وفى زراعة البساتين (Horticultural). اختيار مادة التخزين يتوقف على الاستخدام المعين وعلى كثير من الاستخدامات المنزلية، نظم التخزين بالصخر أو الماء ثم تطويرها. الماء والصخر هما مثال نموذجى للمادة التى تحتفظ بالطاقة والحرارة النوعية (الحرارة المحسوسة)، ولكن استخدامهم يكون محدوداً بسبب حرارتهم النوعية المحدودة نسبياً. حرارة الانصهار. (الحرارة الكامنة) التى تنتج عند تغير حالة المادة من الصلب إلى السائل توفر طريقة جذابة لتخزين كمية معينة من الطاقة خلال حجم صغير جداً. ملح جلوبير ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) هو الأقل تكلفة والمتاح كملح مائى. لتخزين درجة الحرارة العالية فيما بين 200° إلى 300°C ، أملاح أخرى تم استخدامها وحرارة التميؤ للأكاسيد الغير عضوية أساساً MgO ، و CaO .



شكل (1/9) وحدة تخزين المياه . تضاف الطاقة بتدوير الماء خلال المجمع وتزال بتدوير المياه من خلال الحمل

1- تخزين الحرارة المحسوسة : (Sensible Heat storage)

تخزين الحرارة المحسوسة يتضمن المادة التي لا يحدث لها أي تغيير في المجال خلال نطاق درجة الحرارة التي تلاقى في عملية التخزين. المعادلة الأساسية لوحدة تخزين الطاقة خلال فرق محدود في درجة الحرارة هي:

$$Q_s = (mC_p)s (T_1 - T_2)$$

حيث:

$Q =$ إجمالي إمكانيات الطاقة الحرارية لدورة تعمل بين حدود درجة حرارة (T_2) (T_1) ، حيث (m) كجرام من مجال التخزين بحرارة نوعية (C_p) .

مجال درجة الحرارة الذي خلاله يمكن أن يعمل مثل هذا النظام يكون محدوداً عند الحدود السفلى بمتطلبات العملية، والحد الأعلى بعملية ضغط البخار للسائل.

في حالة إنتاج الحرارة المضافة زيادة في درجة الحرارة فقط في الوسط (Medium)، فإننا نقول أن الطاقة الحرارية يتم تخزينها كحرارة محسوسة. طالما أنه لا يوجد تغير في المجال، فإن الارتفاع في درجة الحرارة يتناسب تقريباً مع الحرارة المخزنة ويتناسب عكسياً مع الكتلة. يمكن كتابة التغير في درجة الحرارة كالتالي:

$$T_1 - T_2 = \Delta T = Q_s / (mC_p)s$$

عند استخلاص الحرارة المحسوسة من الوسط أي المجال، فإن درجة الحرارة تنخفض طبقاً للمعادلة السابقة. المعيار الهام في نظام التخزين الحراري هو الحرارة المخزنة في وحدة الحجم. بالنسبة لتخزين الحرارة المحسوسة يمكن كتابة المعادلة السابقة كالتالي:

$$\frac{Q_s}{V_s} = \frac{(mcp)s\Delta T}{V_s} = \rho_s C_p \Delta T$$

حيث:

V_s = حجم معين لوعاء التخزين

P_s = هي كثافة مجال (وسط) التخزين

لذلك، القدرة على تخزين الحرارة تتوقف على المنتج (PCp)، الماء كان أعلا قيمة، ولكن مواد أخرى لها قيم منخفضة.

المواد المستخدمة عموماً لهذا النوع من التخزين هي:

- 1- الماء.
- 2- الصخر في شكل زلط أو مطحون.
- 3- قطع الحديد.
- 4- الحديد، أكسيد الحديد الأحمر أو خام الحديد المسمى الحديد المغناطيسي.
- 5- الخرسانة.
- 6- المواد الحرارية مثل أكسيد المغنسيوم، أكسيد الألومنيوم، وأكسيد السيليكون.

خواص بعض مواد التخزين للحرارة المحسوسة كالتالي :

المادة						الخاصية
SiO ₂	Al ₂ O ₂	MgO	الحصا	صخور	ماء	
2600	4000	3575	1350	2245	958.4	الكثافة (P) كجرام/م ³
1.26	1.02	1.06	0.9	0.81	4.22	الحرارة النوعية (Cp) كيلوجول/كجرام K°
3276	4080	3790	1215	1818	4044	Cp.P (كيلوجول/م ³ K°)
2.3	6.3	10.5	0.85	0.13	0.683	التوصيل الحراري (W/m°K)

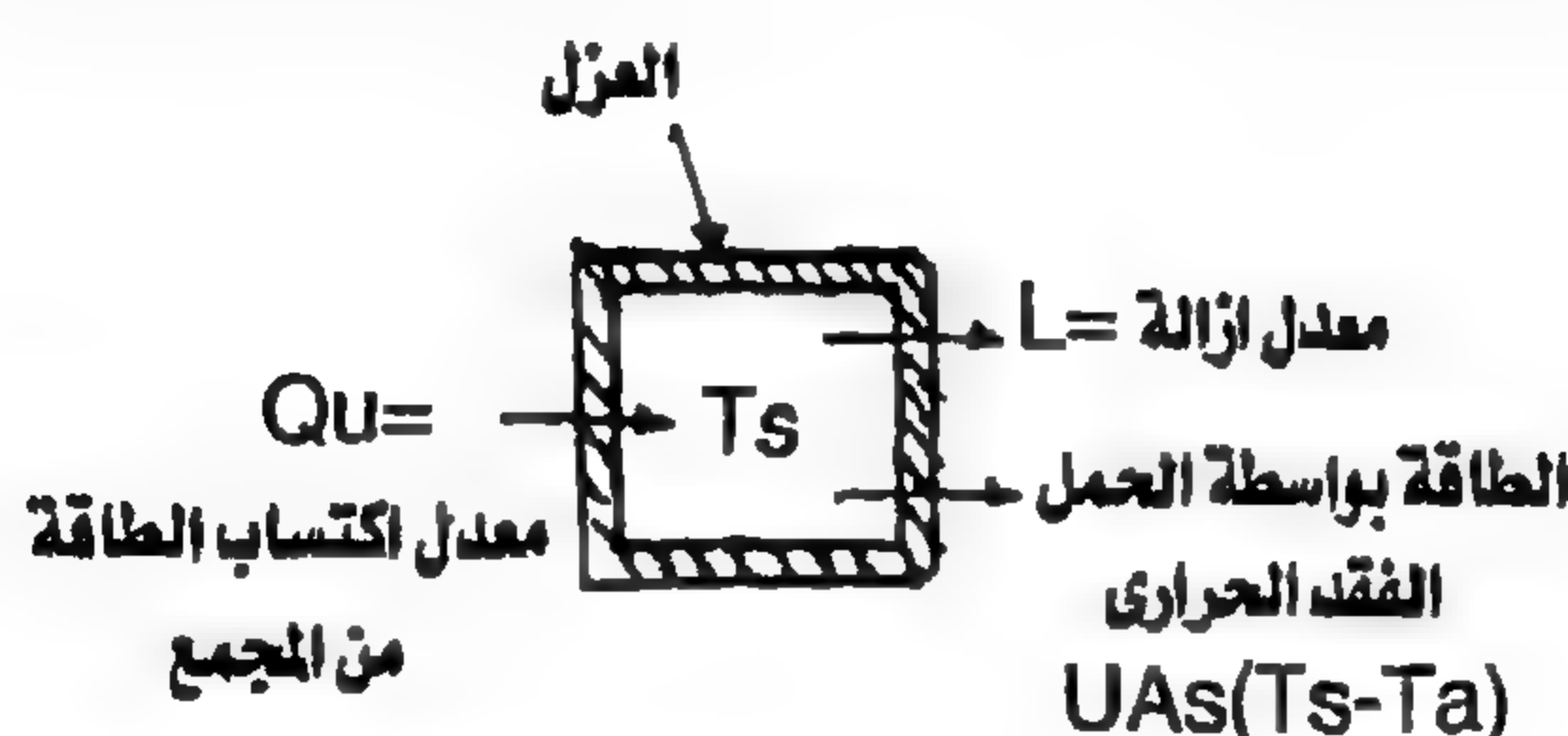
التخزين بالماء : (Water storage)

السائل الأكثر استخداماً للانتقال الحراري للنظام الشمسي هو الماء، وأسهل طريقة لتخزين الطاقة الحرارية هي تخزين الماء مباشرة في خزان معزول جيداً. الحجم المثالي للخزان لنظام المجمع الشمسي باللوح المستوى هو عادة 70 كجرام/المتر المربع (أو 70 لتر/متر مربع). الماء له الخواص الآتية كوسط تخزين:

- 1- غير مكلف، متاح، مادة مفيدة في تخزين الحرارة المحسوسة.

- 2- له طاقة تخزين حراري عالية.
- 3- إضافة وإزالة الطاقة من هذا النوع من التخزين يتم بالوسط نفسه، لذلك عدم حدوث أى انخفاض في درجة الحرارة بين نقل السائل ووسط التخزين.
- 4- تكلفة الضخ منخفضة.
- 5- وحدات التجميع والتخزين يمكن أن تعمل بالتدفق الطبيعي في استخدامات سخانات الماء الشمسية المنزلية، أو يمكن استخدام التدوير عنوة (Forced circulation).

دعنا نتناول نظم التدوير عنوة كما هو موضح في الشكل (2/9).



شكل (2/9) التخزين الغير طباقى

إمكانية تخزين الطاقة لوحدة تخزين بالماء طبقاً للمعادلة السابقة تناولها $Q_s = (mCp)_s (T_1 - T_2)$ ، ما بين حدود درجة الحرارة (T_1) ، (T_2) . بالنسبة للخزان الغير طباقى (Non stratified) الموضح في الشكل ص 265 فإن ميزان الطاقة للخزان ينتج

$$(mCp)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_u - L - (UA)_s (T_s - T_a)$$

حيث:

Q_u ، L = هما معدلات الإضافة والإزالة للطاقة من المجمع والحمل على التوالي.
 m = كتلة التخزين الغير طبقية التى تعمل عند درجة حرارة مستقلة عن الوقت (T_s) في درجة الحرارة العادية (T_a) .

المعادلة السابقة هذه يمكن استخدامها لاستنتاج درجة حرارة حوض التخزين بدلالة الوقت.

يمكن كتابة تلك المعادلة لتتضمن درجة الحرارة ومعدلات التدفق للمجمع وسيل تدفق الحمل. مع إهمال أى هبوط في درجة الحرارة للمائع ما بين الخزان والمجمع (Collector)، فإنه يمكن كتابة Q كالآتى:

$$Q_u = (mC_p)c (T_{co} - T_s)$$

حيث:

$$(mC_p)c = \text{معدل التدفق} \times \text{الحرارة النوعية للسائل خلال المجمع}$$

$$T_{co} = \text{درجة حرارة خروج السائل}$$

$$Q_u = \text{يتم حسابها من معادلة المجمع أي}$$

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_R - T_a)]$$

معدل تدفق المجمع (m) يمكن التفكير فيه كمعدل التدفق الحقيقي خلال المجمع في أي وقت، أو يمكن رؤيته كمعدل الضخ عند عمل المضخة مع تلك المعادلة والتي يمكن تطويرها.

$$Q_p = F (mC_p)c (T_{co} - T_s)$$

حيث:

F = دلالة التحكم ذات قيمة واحد عند عمل المضخة وقيمة صفر في أوقات أخرى.

لذلك فإن دلالة التحكم تكون النظير الملائم لـ "ON" أو "OFF" لخرج (Outputs) للحاكم على الطلمبة، والذي يحول الطلمبة "On" عندما تكون $T_{co} > T_s$ (أي عندما يمكن إضافة طاقة إلى وحدة التخزين). باستخدام هذا المفهوم فإن معدل التدفق يكون (Fm). علاقات مشابهة يمكن كتابتها للحمل. تلك المعادلات يمكن حلها عددياً للحصول على (Ts) وتختلف كميات الطاقة بدلالة الوقت. من خلال طاقة إضافية يمكن تضمينها كذلك، في حالة إضافتها إلى الخزان أو في التدفق الذي يترك الخزان نحو الحمل.

كذلك فإن خزانات المياه يمكن أن تعمل بدرجة كبيرة من الطبقيّة (Stratification) أي حيث الماء ليس ذو درجة حرارة متجانسة خلال البعد العمودي للخزان. في هذه الحالة، فإن ميزان الطاقة يكون مشابهاً للمعادلة

$$(mC_p)s \frac{dT_s}{dt} = Q_u - L - (UA)s (T_s - T_a)$$

والتي يمكن كتابتها لمقاطع الخزان:

درجة حرارة الماء في الخزان تزداد بالتدرج بإضافة الحرارة. إذا كان الخزان مضغوطاً، فإن حدود درجة الحرارة سوف تكون أقل قليلاً من درجة حرارة غليان الماء عند ضغط الخزان.

الخزان الغير مضغوط يتم تنفيثها (Vented). الخزانات المضغوطة هي عموماً غير قابلة للتطبيق للنظم الصغيرة للتسخين أو التبريد التجارى أو المنزلى بسبب ارتفاع تكلفتها.

خزان التخزين الحرارى بانتقال الحرارى (التبريد أو التسخين) بواسطة مائع دوار
محصور Hydronic thermal storage

تلك يمكن إنشاءها من الصلب، الخرسانة، البلاستيك. خزانات الصلب عادة تكون مبطنة بمواد مثل بيوتاييل المطاط (Butyl Rubber) أ، بمادة طلاء مناسبة مثل الكولتار ايبوكسى لمنع حدوث الصدأ. مهما كان نوع التغطية الداخلية فإنه يجب أن تقاوم درجات الحرارة العالية التى تحدث فى خزان الحفظ. الخزانات الأسطوانية تحتاج إلى أدنى عزل لوحدة الحجم، ولكن تأخذ مساحة أرضية أكبر وتكون غير مناسبة للتحمل. الخزانات المستطيلة، تأخذ أدنى مساحة أرضية لوحدة الحجم ولكن تتطلب إنشاء زائد. خزان التحليل من الصوف الزجاجى يستخدم كذلك. الشكل العادى لخزان الصلب هو الأسطوانى حيث نسبة الطول إلى القطر حوالى واحد.

العزل (Insulation):

خزان العزل الحرارى يجب أن يكون معزولاً جيداً لخفض الفقد فى الحرارة المخزنة. القاع، الأجناب القمة للخزان يجب أن يكونوا معزولين. أحد الطرق لعزل القاع هى وضع الخزان على طبقة من الفوم القوى، باستخدام الفوم ذو قوة التحمل العالية للضغط مثل الصوف الزجاجى (Foam glass). طريقة أخرى هى بوضع الخزان على ألواح خشبية بفواصل صغيرة والعزل بين الألواح.

توجد ثلاث طرق لاستخدام العزل وهى:

العزل الملفوف (Wrapped Insulation)

العزل الساييب المفكك (Loose fill insulation)

الفوم:

أحياناً يتم لف شرائط الصوف الزجاجى حول الخزان حتى الوصول إلى السمك المطلوب. الطريقة الثانية هى صندوق الخزان وملئ الفراغ بعزل الصوف الزجاجى الساييب. لا يوصى باستخدام سيليلوز أسيتيت نظراً لكونه يفقد قدرته على العزل فى حالة كونه مبللاً. مشكلة ملئ العزل الساييب هى ضغط العزل عند القاع بسبب وزن العزل فوقه. وهذه ليست مشكلة عملية لعزل قمة الخزان، حيث نادراً ما يزيد ارتفاع الملئ بالعزل المفكك عن 50سم (20 بوصة).

الحجم والشكل: (Size and configuration)

كما سبق ذكره الماسورة من مصفوفة المجمع الشمسي تدخل خزان التخزين الحراري عند الجزء العلوي للخزان، والمخرج من الخزان إلى المجمعات يوضع قرب قاع الخزان. بالمثل، الماسورة التي تؤدي إلى نظام التوزيع تخرج من الخزان قرب القمة حيث يكون الخزان أكثر سخونة، وتعود نحو القاع. الخزانات المزودة بتنفيث (Vented) يجب أن يتوفر لها وسائل لإضافة مياه تعويض للنظام بسبب الفقد بالبخر من حوض التخزين الحراري. عادة يتم ذلك بواسطة خط مياه تعويض الداخل إلى القاع والذي يتم إحكامه بواسطة محبس عوامة في الخزان. بعض النظم الصغيرة والسكانية تستخدم زجاجة ملاحظة على الخزان، والتي تسمح بملاحظة مستوى المياه في الخزان نظرياً. في هذه الحالة، يتم التعويض بفتح المحبس يدوياً في خط التعويض لملي الخزان إلى المستوى المطلوب.

حجم خزان الحفظ الحراري يتوقف على عدد من المعايير، شاملة كفاءة الجامع، حمل التسخين وجزء التسخين الشمسي المطلوب. الحجم العادي هو 75% لتر/المتر المربع لمساحة المجمع. حجم التخزين الحراري تحت النظام يكون عادة أحد المعايير خلال مرحلة تصميم النظام، حيث أنه يلزم تحليل التكلفة بين حجم النظام وأدائه. وحدات التخزين الحراري الكبيرة تقلل من أداء النظام إذا كان الفقد الحراري من التخزين أصبح الجزء الرئيسي لكل الحرارة المكتسبة من مصفوفة الجامع.

تكلفة وأداء نظام التخزين الحراري ذو الأساس بالماء يعتمد على عدد من العوامل، متضمناً التصميم ومواد الإنشاء، عدد الخزانات والتوصيل فيما بينها، ونوع وسمك العزل، ونوع الحامل المطلوب للخزان، والمكان (داخلي أو خارجي).

المواد: (Materials)

الصلب هو المادة المستخدمة للخزان حيث يوفر قوة التحمل والقوة خلال مجال كبير لدرجة الحرارة، ولكن يجب حمايته ضد التآكل من الداخل والخارج. الوصلات بالفلنجة (الأوشاش) وبالقلاووظ من السهل عملها في خزانات الصلب. خزانات الصوف الزجاجي ليست قوية وهي محدودة لدرجات حرارة من 80-100°م. من الصعب إضافة وصلات جديدة لخزان الصوف الزجاجي حيث من السهل إضافة وصلات جديدة لخزانات الصلب. كذلك فإن خزانات الفيبرجلاس أكثر عرضة لمشاكل التسرب عند نقطة التوصيل، بسبب فرق التمدد الحراري ما بين المواسير المعدنية وخزان الصوف الزجاجي.

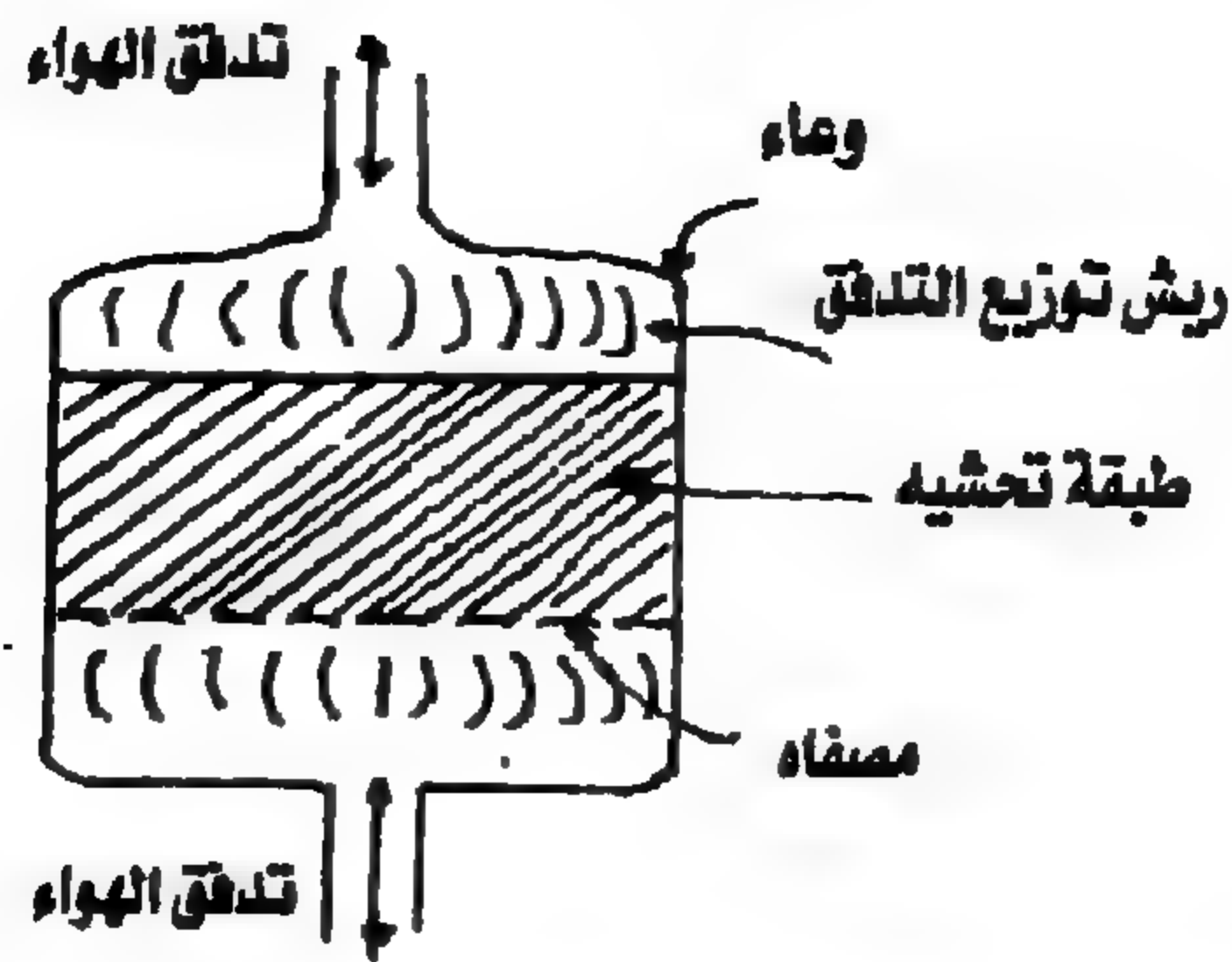
الميزة الرئيسية للصوف الزجاجي مقارنة بالصلب هو مقاومة التآكل المتعلقة بالصوف الزجاجي. الخزانات الخرسانية غير مكلفة ويمكن إنشاؤها في الموقع، ولكن من الصعب عزلها وحمايتها من الماء. في حالة عزل خزان الخرسانة من الخارج، فإن كتلة الخرسانة تصبح جزء من كتلة التخزين. ولكن الخرسانة معرضة للخاصية الشعرية التي تسمح بتسرب المياه خلال الشقوق والوصلات، والوصلات المقاومة للتسرب يكون من الصعب جداً عملها. عدم التصنيع الجيد لخزانات الخرسانة يمكن أن يحدث تشقق بسبب الدورة الحرارية لوسط التخزين، والذي يحدث كذلك في أحواض السباحة.

(2) مبادل التخزين بطبقة الحشو (طبقة الصخر للتخزين الحراري)

Packed Bed Exchanger storage (Rock bed thermal storage)

لتخزين الحرارة الملموسة بالهواء كآلية انتقال الطاقة، فإن الصخر، الزلط، أو الحجر المفتت في خزان الحفظ له ميزة توفير سطح انتقال حرارة كبير ورخيص. طاقته الحرارية، هي فقط حوالي نصف ذلك للماء، وحجم الخزان سيكون حوالي ثلاث أضعاف حجم خزان الماء الذي يتم تسخينه خلال نفس فترة درجة الحرارة. الماء متفوق بسبب انخفاض سعره وقلة حجمه اللازم لوحدة الطاقة المخزنة. الصخر له المميزات الآتية مقارنة بالماء.

- 1- من السهل احتواؤه مقارنة بالماء.
- 2- الصخر يعمل كمبادل حراري ذاتي والذي يقلل من إجمالي تكلفة النظام.
- 3- يمكن استخدامه بسهولة لتخزين الحرارة عند درجات حرارة أعلا كثيراً من 100°C . التخزين عند درجة حرارة عالية حيث الماء لا يمكن استخدامه في الشكل السائل بدون خزان ماء مضغوط ومكلف. والوحدة المصممة جيداً للطبقة المدمجة من الصخر لها بعض الخواص المطلوبة لاستخدامات الطاقة الشمسية وهي:
- 4- معامل الانتقال الحراري بين الهواء والصلب مرتفع.
- 5- تكلفة مادة التخزين منخفضة.
- 6- التوصيل الحراري للطبقة منخفضة عند عدم وجود تدفق للهواء الشكل (9/3) يوضح مخطط لطبقة مدمجة في وحدة التخزين، والتي تستخدم الطاقة الحرارية لمادة حبيبية مفككة حيث خلالها المائع الذي عادة يكون الهواء يتم تدويره لإضافة أو إزالة الحرارة من الطبقة.



شكل (3/9) مخطط لوحدة التخزين لطبقة الحشو

الظواهر الأساسية لوحدة طبقة التخزين هي الوعاء (الخران) حامل مثقب لحمل الطبقة وموزعات الهواء. في الاستخدام يظل التدفق خلال الطبقة في اتجاه واحد خلال إضافة الحرارة وفي الاتجاه المعاكس خلال سحب الحرارة. لاحظ أن إضافة الحرارة والإزالة من التخزين لا يمكن عملة في نفس الوقت في هذا النظام. متطلبات العزل عند السطح الخارجي للطبقة يكون عند أدناه، للتخزين قصير الأجل، حيث التوصيل الحراري للطبقة عند الاتجاه المحيطي يكون منخفضاً. وحدة التخزين بالطبقة المحشوة أو وحدة التخزين بطبقة الحصى لنظم التسخين الشمسي للهواء يمكن أن يكون أفقياً أو رأسياً. الطبقات الرأسية هي المستخدمة عادة في أماكن حيث الارتفاع يكون محدوداً. وهذه ليست لها الميزة المتعلقة بالطبقات الحرارية التي توجد في طبقات الحصى الرأسية.

أفضل الصخر لاستخدامه في طبقة الحصى هو الزلط المستدير من قاع النهر، ولكن الزلط المفتت يمكن استخدامه كذلك. الزلط يجب غسله جيداً لتحسين تدفق الهواء وخفض انسداد المرشح. إذا كانت وحدة التخزين الحراري مستخدمة كذلك في التبريد الفيزيائي صيفاً، فإن التكثيف يمكن أن يحدث، لذلك فإنه لا يتم استخدام الرخام، الحجر الجيري والدولوميت الذي يتفاعل مع الماء وثاني أكسيد الكربون.

الفراغات الممتلئة بالمادة (سمك طبقة المادة) يجب أن يكون مساحات مقطوعها لا تقل عن 8% لمساحة مقطع طبقة الصخر. الكمية هي مثالياً في المجال 245 كجرام/المتر المربع (50 رطل/اليوم المربع) للمجمع الشمسي، ولكن يمكن أن تكون هناك حاجة لحسابات أكثر دقة لتعظيم نظام التخزين الحراري هذا. الانخفاض في الضغط ما بين أعلا وأسفل الحيز الممتلئ بالمادة (Plenum) يجب أن يكون كافياً لتأكيد التوزيع المتجانس لتدفق الهواء في طبقة الصخر وكثيراً من سعة التخزين الحراري للطبقة الصخرية يمكن استخدامه كقاعدة عامة أدنى انخفاض في الضغط يجب أن يكون

تخزين الطاقة الشمسية

حوالى 0.15 بوصة (4 ملليمتر) للماء (37 نيوتن/المتر المربع) لضمان التدفق المنتظم، ولكن لا يزيد عن ضعف تلك القيمة، أو متطلبات قوة النافخ يمكن أن تصبح كبيرة جداً. التدرج فى الضغط خلال الطبقة الصخرية يعرف بنسبة الانخفاض فى الضغط إلى سمك الصخر. سرعة الواجهة (Face velocity) هى المعدل الحجمى لتدفق الهواء مقسوماً على مساحة مقطع طبقة الصخر أو بمعنى آخر سرعة الهواء قبل دخوله الصخر مباشرة. معدل التدفق الحجمى للهواء يتم ضبطه عموماً بمصفوفة الجامع (Collector array). التدرج فى الضغط يزداد مع سرعة الواجهة (Face velocity). زيادة قطر الصخر يقلل التدرج فى الضغط، بسبب كبر فراغات الهواء بين الصخر لتدفق الهواء، ولكن، الصخور الأكبر (Larger rocks) تأخذ وقت أطول لتصل إلى اتزان درجة الحرارة مع الهواء المحيط. إذا كان الوقت اللازم للصخر للوصول إلى اتزان حرارى مع الهواء يكون أقل كثيراً عن الوقت اللازم لتدفق الهواء خلال طبقة الصخر، فإن الهواء المتدفق خلال الطبقة سوف يخرج عند درجة حرارة مساوية تقريباً لتلك لطبقة الصخر التى مرت خلالها أخيراً. كقاعدة عامة سمك الطبقة الصخرية يجب أن لا يقل عن 20 ضعف قطر الصخرة إذا كان قطر الصخرة أقل من 10سم (4 بوصة) ولا يقل عن 30 ضعف لقطر الصخرة إذا كان الصخر أكبر من 10سم. الجدول التالى يبين الكثافات والسعة الحرارية للعديد من مواد التخزين الحرارى. السعة الحرارية الحجمية تقدر بالمادة النقية (بدون مسام) وفى حالة 30% مسام، والذي يمثل الحل النموذجى لنظام التسخين المبني على الهواء.

جدول (1/9) السعة والكثافة لمواد التخزين الحرارى للحرارة المحسوسة:

المادة	الحرارة النوعية Cp جول/كجم. °م	الكثافة كجم/م ³	السعة الحرارية الحجمية	
			بدون مسام ميجا °جول/م ³ م MJ/m ³ °C	30% مسام MJ/m ³ . °C
ماء	4180	1000	4.18	-
حديد	460	7830	3.61	2.53
الومنيوم	920	2690	2.48	1.74
خرسانة	1130	2240	1.86	1.78
صخر	879	2680	2.33	1.63
طوب	879	2240	1.97	1.38

يمكن استخدام الطرق التحليلية أو العددية لدراسة أداء مبادلات طبقة الحشو Packed bed.

طبقة الحبيبات الزلطية لتخزين الطاقة استخدمت في المنازل الشمسية أو مع استخدام نظام جامع الهواء الساخن (Hot air collector).

2- حرارة التخزين الكامنة (Latent heat storage). أو تخزين الطاقة بتغير المجال (Phase change Energy storage)

مادة تغير المجال يمكنها تخزين الحرارة بحدوث تغير المجال من الصلب إلى المجال السائل/ الحالة (الانصهار)، إطلاق تلك الحرارة بالانعكاس ثانياً (Reversing back) الحالة الصلبة (التجمد). المثال العادي هو الماء، والذي يقوم بتخزين (وإطلاق) الحرارة بتغير المجال عند صفر درجة مئوية. عند تخزين الحرارة في وحدة تخزين بتغير المجال، فإن الحرارة المنقولة إلى وحدة التخزين تذيب مادة تغير المجال، وعند إزالة الحرارة من التخزين، فإن المادة تعود إلى حالة التجمد.

في استخدامات معينة يكون من المطلوب المحافظة على غير درجة الحرارة لمجال التخزين إلى أدناه. طبقاً للمعادلة $T_1 - T_2 = \Delta T = Q_s / (mC_p)_s$ السابق ذكرها، هذا التغير يمكن خفضه وذلك بزيادة كتلة مجال التخزين. ولكن يمكن وجود طريقة أكثر تأثيراً لتثبيت درجة الحرارة باستخدام الحراري الكامنة بدلاً من تخزين الحرارة المحسوسة.

عند تسخين مادة صلبة فإن درجة حرارتها تستمر في الارتفاع حتى الوصول إلى درجة حرارة انصهارها (T_m). عند إضافة حرارة زائدة، فإن درجة حرارتها تظل ثابتة عند (T_m) ولكن تبدأ في إحداث تغير مجال نحو الحالة السائلة. لا تحدث زيادة في درجة الحرارة حتى اكتمال عملية الانصهار. الحرارة الممتصة لوحدة الكتلة بواسطة الوسط و (الكتلة) والمخزنة فيه خلال تحول المجال تسمى الحرارة الكامنة (Latent Heat). تخزين الحرارة الكامنة لوحدة الحجم هو:

$$Q_s/V_s = P_s \cdot T \text{ (latent heat)}$$

حيث:

$$P_s = \text{متوسط الكثافة للوسط}$$

$$= \text{كمثال الحرارة الكامنة للتجمد } L$$

$$L = 3.35 \times 10^5 \text{ J/Kg (335KJ/Kg or 80 Kcal/Kg)}$$

تخزين الطاقة الشمسية

$$= \frac{3.35 \times 10^5}{60 \times 60 \times 10^3} \text{ KW-hr / Kg}$$

$$= 0.093 \text{ KW-hr/kg}$$

إذا أخذنا كثافة الوسط الثلج - الماء ليكون ذلك للماء تقريباً أى
Ps = 1000 كجرام/المتر المكعب.

فإن المعادلة السابقة $Q_s/V_s = 0.093 \times 1000 = 93$ كيلوات. ساعة/م³

$$\frac{Q_s}{V_s} = \left(\frac{mcp)s\Delta T}{V_s} \right) \text{ مقارنة ذلك بالما } X \text{ فى المعادلة}$$

(السابق ذكرها) فإننا نلاحظ أنه يمكن تحقيق نفس كثافة التخزين بالحرارة المحسوسة (Sensible Heat)، شريطة أن يتحول الماء بـ 80°م. تخزين الطاقة الكامنة يحدث مع عدم التغير فى درجة حرارة التخزين. المشكلة المتعلقة بتخزين الحرارة الكامنة فى ثلج الماء هى درجة حرارة الانصهار هى أنها شديدة الانخفاض نحو الاستفادة. الهدف عندئذ هو وجود مادة صلبة حيث درجة حرارة انصهارها تكون دون تلك التى يمكن للمصفوفة الشمسية إمدادها وبالتالي أعلا من المستوى المطلوب فى استخدامات التسخين.

معظم المواد التى تكون صلبة عند درجة حرارة انصهار عالية الارتفاع بخصوص الاستفادة فى استخدامات التخزين الشمسى. ولكن، يوجد بعض الأملاح المائية ذات درجات حرارة انتقال منخفضة بما يكفى لتخزين الطاقة الشمسية. (أنظر الجدول التالى):

جدول (2/9) خواص مواد تغير الوسط المختارة

الحرارة النوعية Cpd كيلو جول/كجرام°م		كثافة الصلب كجرام/م ³	حرارة الانصهار ك جول/كجرام	درجة حرارة الانصهار °م	مادة تغير الوسط (المجال)
سائل	صلب				
2310	1340	1630	170	29.4	كلوريد الكالسيوم سداسى التميؤ
1940	1690	1520	280	36	دايبيروم قوسفيت ذو 12 جزئى مائى

2010	2210	856	247	36.7	N- Ei cosane
-	2890	785	209.2	47	شمع البارافين Sunoco-116
-	2260	1300	146	25 - 20	البولى إيثيلين جليكول - 600
		1440	251	33	كربونات الصوديوم ذات 12 جزئى مائى
2389	1450	1690	200	49	صوديوم ثيوسلفيت بنثا هيدريت
			80.7	143	Hitec ($\text{NaNO}_3 + \text{NaNO}_2 + \text{KNO}_3$)

فى الواقع خليط معين من الأملاح ينصهر عند درجات حرارة منخفضة مقارنة بذلك الذى يحدث للمكونات المنفردة. مثل هذا النظام يسمى الخليط الأصهوريه ذات نقطة الانصهار الدنيا (Eutectic Mixlures). نقطة الانصهار لمثل هذا الخليط يمكن خفضها إلى أدنى قيمة بالاختبار المناسب لنسب الخلط.

المواد التى يحدث لها تغير فى الوسط فى مجال مناسب لدرجة الحرارة يمكن أن تكون مفيدة فى تخزين الطاقة إذا تحققت البيانات التالية:

- 1- تغير الوسط يجب أن يتم بتأثير عالى للحرارة الكامنة.
- 2- تغير الوسط يجب أن يكون معكوساً (Reversible) خلال عدد كبير من الدورات بدون تحلل شديد.
- 3- تغير الوسط يجب أن يحدث بتبريد شديد محدود (Super colling).
- 4- يجب توفير السائل لاحتواء المادة وانتقال الحرارة منها وإليها.
- 5- تكلفة المادة والأوعية يجب أن تكون مناسبة.
- 6- تغير مجال الوسط يجب أن يحدث قريباً من درجة حرارة انصهاره الحقيقية.
- 7- تغير الوسط يجب أن يكون له تأثير حرارة كامنة، أى أنه يجب أن يقوم بتخزين كميات كبيرة من الطاقة.
- 8- يجب توفر المادة بكميات كبيرة.

- 9- تحضير مادة تغير الوسط للاستخدام يجب أن يكون بسيطاً نسبياً.
- 10- المادة يجب أن تكون غير ضارة (غير سامة، غير قابلة للاشتعال، غير قابلة للاحتراق، غير عدوانية).

في حالة تحقيق تلك المتطلبات، فإن نظم تخزين الطاقة بتغير الوسط (المجال) يمكن أن يكون له قدرات عالية (بالنسبة لتخزين الطاقة في شكل نظم الحرارة المحسوسة) عند العمل خلال مجالات درجة حرارة صغيرة، مع الخفض الكبير في الحجم والوزن.

توجد بعض المميزات البارزة إلى حد ما نحو تخزين الطاقة الحرارية في شكل حرارة كامنة مقارنة بالحرارة المحسوسة. التخزين يحدث خلال مجال درجة حرارة ضيق والطاقة لوحدة الحجم تكون ضخمة جداً. (وهذا موضح في المثال السابق) ولكن توجد بعض المشاكل التقنية. التلف الكيماوي لوسط التخزين والسطح الملصق به يمكن أن يكون مشكلة بالإضافة إلى، الانتقال الحراري إلى الوسط الصلب ليس دائماً عملية ذات كفاءة، خاصة إذا كان الوسط ذو توصيل حراري ضعيف. وسط التخزين يجب كذلك أن ينصهر عند درجة حرارة متوافقة مع استخدام معين للتسخين الشمسي.

في أي نظام تخزين المائع التوصيل الأولي يجب أن يدخل الخزان عند درجة حرارة أعلا عن تلك للخزان، وإلا فإن المائع سوف يستخلص الحرارة ولا يضيف حرارة. يمكن استخدام جهاز لإحكام التدفق لتنظيم تدفق مائع الانتقال. عند هبوط درجة حرارة المائع أدنى من تلك لوسط التخزين، فإن التدفق يمكن أن يتم خلال ممر جانبي بعيداً عن الخزان أو إيقافه كلية.

مادة الوسط المتغير لتخزين الطاقة :

Material for phase change Energy storage

يوجد العديد من المواد التي يحدث لها تغير في الوسط. الأملاح المائية، ملح جلوبر ($\text{Na}_2\text{SO}_4 - 10\text{H}_2\text{O}$)، الماء، $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ملح أصهوري عند درجة حرارة منخفضة (Salt sutectic)، تلك هي المواد المستخدمة غالباً.

يوجد العديد من مواد التخزين الحراري المتاحة، وهي الشمع (Wax)، كلوريد الكالسيوم سداسي التميؤ ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)، كبريتات الصوديوم المائية ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) ($10\text{H}_2\text{O}$) صوديوم ثيوسلفيت نباتا هيدريت ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

عند انصهار ملح متميئ، فإن بعض أو كل جزئيات الماء تتفصل من جزئيات الملح. إذا كان الملح قابل للإذابة الكاملة في المياه المتحررة المنتجة، الإذابة (Freeze/thaw) تكون تامة الانعكاس (Reversible). أي مادة التي تغير المكون

الكيمائى عند إذابتها أو انصهارها فإنها تذوب أو تنصهر توافقياً. إذا كان الملح المائى قد انصهر والملح ليس تام الإذابة فى مياه التميؤ، فإن بعض من الملح الغير مذاب قد يرسب نحو القاع حيث فى هذه الحالة تكون الإذابة غير توافقية (In congruent). الأملاح المائية والأقل تكلفة مثل تلك المبينة فى الجدول السابق لا تذوب توافقياً والمواد الأخرى فى الجدول هى كذلك. تم عمل الجهود لحل مشكلة الإذابة الغير توافقية بتخزين الخليط عند انصهاره، وذلك بخلق جيل من الملح المائى (Salt Hydrate Jel) الذى يمنع ترسيب الملح، وبواسطة تغليف الملح.

احتمال التبريد الزائد يجب كذلك أن يؤخذ فى الاعتبار فى تصميم وحدات التخزين الحرارى بتغير الوسط. بدون توفير مراكز للنويات (Nucleation centres) لتنشيط تكون البلورات، فإن وسط المجال المائى قد يظل سائل مع تبريده إلى أقل من درجة حرارة تجمده. مراكز النويات يمكن توفيرها بإضافة عامل النويات (Nucleating agent) إلى مادة تغير الوسط خلال العزل لضمان أن بعض المادة الصلبة يظل دائماً ملتصقاً مع السائل النشط التجمد مع تبريد السائل.

مشكلة أساسية لتنظيم تغير الوسط هو التجمد على سطح المبادل الحرارى وذلك عند إزالة الحرارة، الواضح، أن السائل الأكثر برودة سيكون ملاصقاً لسطح المبادل الحرارى. التوصيل الحرارى المؤثر للصلب يكون أقل عن ذلك للسائل، والانتقال الحرارى يتم إعاقته. لهذا السبب، فإن مادة تغير الوسط تكون عادة معبأة فى أسطوانات رقيقة (أسطوانات، ألواح) ذات مساحة انتقال حرارى ضخمة. مادة التغليف يجب اختيارها لتكون متوافقة مع مادة تغير الوسط.

1- ملح جلوبر ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

تغيرات المجال من الصلب إلى السائل يتطلب طاقة أقل عن ذلك من السائل إلى الغاز، ولكن تغيرات بعض الصلب إلى السائل لا زال يوفر كميات مفيدة من إمكانيات التخزين. مواد تغير المجال التى تشمل مياه التميؤ تم تجربتها طويلاً فى مجال الطاقة الشمسية. أحد هذه هو ملح جلوبر، الذى يتحلل عند حوالى 32°C لإعطاء محلول زائد (Na_2SO_4)، مع حرارة انصهار مقدارها 243 كيلو جول/كجرام (56 كيلو كالورى/كيلو جرام) وتم اقتراحه أساساً فى تخزين الحرارة المنزلية. والتفاعل هو كالاتى:



تخزين الطاقة يتم بالتفاعل من اليسار إلى اليمين بإضافة حرارة. استخلاص الطاقة من التخزين هى ذات طريقة عكسية. لقد وجد أن الأداء يتآكل عند تكرار التدوير، مع انخفاض السعة الحرارية للنظام. ملح جلوبر له نقطة انصهار غير توافقية، حيث

ينفصل إلى السائل (المحلول) والصلب Na_2SO_4 نظراً لأن كثافة الملح أعلا من كثافة المحلول، فإنه يحدث انفصال في المجال. تمت محاولات لاستخدام الجيل أو عوالم أخرى لتجنب فصل المجال.

2- الماء :

أكبر كمية هي لتغير المجال من الماء إلى البخار، تخزين 548 كيلو كالورى لكل كيلو جرام أو أقل طبقاً لدرجة الحرارة التي عندها يحدث تغير للمجال. ولكن البخار وسط صعب احتواؤه و تمت محاولات لتخزين البخار في أوعية ضغط ضخمة وثبتت أنها غير عملية وخطرة - عموماً يفضل العمل بتغير المجال من الصلب إلى السائل وليس من السائل إلى الغاز. التحول من الثلج إلى الماء هو مثال ممتاز والذي استخدم لتخزين الطاقة لقرون.

3- $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: هذا المركب له نقطة انصهار متطابقة ويذوب بنفس الطريقة مثل المركب النقي.

4- المركبات العضوية :

المواد العضوية تعمل كمواد لتخزين الحرارة بسبب الصفات لمطلوبة التي تمتلكها مقارنة بالمركبات الغير عضوية. بعض من تلك المميزات تتضمن قدرتها على الإذابة التوافقية، خواص تكوين النوبات الذاتية، قدرتها على التجمد بدورة التبريد القائمة (Super colling) وقدرة تناغمها مع مواد الإنشاء التقليدية.

كلاً من البارافين والأحماض الدهنية هما من المواد العضوية المؤهلين كمواحد حرارة الانصهار (Heat dffusion). البارافين (Parraffins) كما نفهمهم هي مواد ذات قوام شمعى عند درجة حرارة الغرفة.

البارافينات من الناحية الكيميائية، خليط معقد من العديد من المواد العضوية. فهي تمتلك حرارة انصهار عالية ومتاحة في مجالات درجة حرارة كبيرة. وهي معروفة أنها تتجمد بدون التبريد الفائق. الأحماض الدهنية تتصف بـ $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH})$ بدرجة حرارة انصهار بقيم تقارن تلك للبارافين. بعض الأحماض الدهنية ذات العلاقة بتخزين الحرارة الكامنة عند درجة حرارة منخفضة موضحة في الجدول التالى.

الأحماض الدهنية معروفة أنها تمتلك سلوك انصهار وتجمد يمكن استعادته وتتجمد بالقليل أو بدون تبريد فائق. لذلك فإنها مؤهلة كمواحد تخزين طاقة حرارية جيدة لتغير المجال مع السلبية الرئيسية للتكلفة العالية (حوالى 2 - 2.5 ضعف ذلك للبارافين).

جدول (3/9) الخواص الطبيعية للأحماض الدهنية

المادة	درجة حرارة الانصهار °م	حرارة الانصهار كيلوجول/كجرام	الكثافة جرام/سم ³	الحرارة النوعية كيلوجول/كجرام	التوصيل الحراري W/mK
Caprillic Acid	16.3	149	1.033 (°م ¹⁰)	-	0.148 (°م ²⁰)
Capric Acid	31.5	136	0.886 (°م ⁴⁰)	-	0.149 (°م ⁴⁰)
Lauric Acid	42.44	178	0.870 (°م ⁵⁰)	1.6	0.147 (°م ⁵⁰)
Myristic Acid	54	187	0.884 (°م ⁸⁰)	1.6	-
Palmitic Acid	63	187	0.847 (°م ⁸⁰)	-	0.165 (°م ⁷⁰)
Stearic Acid	70	203	-	-	0.172 (°م ⁷⁰)

طبقة التخزين من الصخر أو الحصى تستخدم عادة لدرجات حرارة حتى 100°م⁵ بالاتصال مع سخانات الهواء الشمسية. هذا النوع من التخزين يمكن استخدامه كذلك لدرجات حرارة أعلا حتى 100°م. المواد الحرارية مثل (MgO, Al₂O₃, SiO₂) مناسبة كذلك لتخزين الحرارة المحسوسة عند درجات الحرارة العالية.

(5) الملح الأصهوري (Salt eutectics)

الملح الأصهوري يوفر إمكانية خفض التبخر في درجة الحرارة إلى أقل من نقطة الانصهار العادية لأي من المركبات المكونة للخليط المصطلح أصهوري (Eutectic) يستخدم لوصف الخليط من الكيماويات الذي له سلوك درجة حرارة مطلوب، تحديداً، هذا المصطلح يشير إلى الخليط حيث نقطة الانصهار هي الأدنى. بعض من المركبات الأصهورية ذات أقل نقطة انصهار تكون مفيدة كوسط انتقال حراري. الأصهوريات الممكنة هي:





الجدول (4/9) الآتي يوفر معلومات حول أنواع الخليط الأصخوري ذات الأهمية في تخزين الطاقة الحرارية.

مكونات الخليط الاصهوري	نقطة الانصهار °م	الحرارة الكامنة	
		L كيلو كالوري/كجم	L كيلو جول/كجرام
CaCl ₂ .MgCl ₂ .H ₂ O 41 : 10 : 49	25	41.7	175
Mg (NO ₃) ₂ 6H ₂ O.Al(NO ₃) ₃ .9H ₂ O 53 : 47	61	35.4	148
Acetamide - stearic Acid 17:83	65	52	218
Urea - NH ₃ NO ₃ 45.3 : 54.7	46	41	172

الانتقال الحراري إلى ومن مادة تغير المجال يجب إعطاؤها عناية خاصة. المادة يجب احتوائها بحيث أن الحرارة يمكن انتقالها إلى ومن المادة بأدنى انخفاض في درجة الحرارة. تم عمل ذلك تجريبياً بوضع المادة في أوعية صغيرة (صفائح أسطوانية، أنابيب أو صواني) مع وضع الأوعية في صناديق أو قنوت (Bins or Ducts). مائع الانتقال الحراري عادة (الهواء) يتم تدويره فوق الوعاء حيث يوجد في طبقة مرصوصة. مشكلة الانتقال الحراري الخارجية إلى الأوعية تشبه الطبقة المرصوصة المغلقة (Packed Bed). داخلياً، يجب مراعاة ظاهرتين إضافيتين. أولاً، يجب معرفة أن الحرارة الكامنة (Latent heat) التي تضاف بشدة حرارة نوعية عالية خلال مجال درجة حرارة صغيرة جداً، وثانياً، المقاومة الحرارية لانتقال الحرارة خلال المادة يكون متغيراً طبقاً لدرجة التصلب سواء كان بتسخين أو تبريد المادة، وعند نهاية التبلد، فإن الحرارة يجب أن تنتقل خلال طبقات الصلب إلى حوائط الوعاء. مع تسخين مادة التصلد (Solidification)، تحدث الانصهار أولاً عند الحوائط ثم إلى الداخل نحو مركز

الوعاء. عوامل عملية أخرى يجب مراعاتها بالنسبة لتغير مجال التخزين والتآكل والتفاعل الجانبي، ضغط البخار، السمية والتكلفة. تخزين الحرارة الكامنة بدرجات الحرارة العالية:

High temperature latent heat storage:

لقد ناقشنا مادة تغير المجال (Phase change) المستخدمة في التخزين عند درجة الحرارة المنخفضة، مثل المركبات العضوية، المركبات والأملاح الغير عضوية. الجدول الآتي بيان بمواد التخزين الحراري لمجال درجة حرارة من 200°C إلى 450°C .

جدول (5/9)

المادة	نقطة الانصهار $^{\circ}\text{C}$	الكثافة جرام/سم ³	الحرارة الكامنة كيلو جول/كجم
Zn Cl ₂	283	2.91	168.8
Na (OH)	319	2.15	159.0
B ₂ O ₃	460	1.84	330.4
KOH, ZnCl ₂ (64:36)	190	2.06	230
KCl-MgCl ₂ - NaCl 20-50-30	396	2.25	412
MgCl ₂ - NaCl (38-62)	435	2.16	328
KCl - ZnCl ₂	235	2.48	198

نظم حرارة الانصهار (Fusion) باستخدام خلطات الملح الغير عضوي لها ميزة بارزة لتخزين الطاقة عند درجات الحرارة العالية نظراً لأنه يمكنها خفض أحجام التخزين وإنتاج طاقة أكبر عند درجات الحرارة الثابتة.

تم تطوير نظام في عام 1982 (في مركز علوم الفضاء في كالوريدا)، لتوفير التخزين للطاقة الحرارية بتكلفة منخفضة باستخدام الأملاح المنصهرة. في هذا النظام تم استخدام ملح النترات المنصهر (60% NaNO₃, 40% KNO₃) بالوزن واقترح خزان مزدوج حيث أحدهما لتخزين الملح الساخن عند 566°C والثاني لتخزين "البارد" عند 560°C . الملح الساخن يتم تسخينه إلى 566°C في مستقبل شمسي (Receiver) وضخه إلى حوض التخزين الساخن. هذه الطاقة يتم استخدامها لإنتاج البخار عند 538°C ، والذي يمكن استخدامه لتشغيل توربين أو استخدامه كمصدر حراري لعملية صناعية.

تخزين الطاقة الشمسية

الملح يوجد في المبادل الحرارى عند درجة حرارة 289°C والتي تكون أعلا من نقطة تجمد الملح بدرجة كافية لمنع حدوث أى تصلدا. الملح البارد يعود إلى الخزان البارد حيث يتم تخزينه للتدوير. النتائج التجريبية الأولية أظهرت أن الخزانات ذات العزل الخارجى تكون عملية لهذا النوع من تخزين الطاقة وكل الفكرة العامة نفسها تكون مناسبة لنظام المستقبل المركزى للحرارة الشمسية.

مثال :

أحسب الحرارة المحسوسة المخزنة لوحدة الحجم لأوساط التخزين الحرارى الآتية، عندما تكون درجة حرارتهم تزيد بـ 10°C .

أ- للماء ($Ps = 1000$ كجرام/م³، $Cp = 4186$ جول/كجرام.م⁰)

ب- للكحول الميثيلى ($Ps = 810$ كجرام/م³، $Cp = 2512$ جول/كجرام.م⁰)

الحل:

$$\frac{Q_s}{V_s} = Ps \cdot Cp \cdot \Delta T$$

أ- للماء

$$\frac{Q_s}{V_s} = 1000 \times 4186 \times 10 = 4.186 \times 10^7 \text{ J/m}^3$$

$$= \frac{4.186 \times 10^7}{3.6 \times 10^3 \times 16^3} \text{ Kw-hr / m}^3$$

$$= 11.6 \text{ Kw. Hr/m}^3$$

ب- للكحول الميثيلى : (Methyl alcohol)

$$\frac{Q_s}{V_s} = 810 \cdot 2512 \cdot 10$$

$$= 2.03 \times 10^7 \text{ J/m}^3$$

$$= \frac{2.03 \times 10^7}{3.6 \times 10^3 \times 10^3} \text{ Kw-hr / m}^3$$

$$= 5.6 \text{ Kw-hr/m}^3$$

مثال :

أوجد الطاقة المخزنة لوحدة الحجم، وكتلة طبقة الحصى لتخزين الحرارة لنظام التسخين الشمسى بنوع الهواء، عندما تكون درجة حرارته لترتفع 20°C . الطبقة مطلوب

لها تخزين 25 كيلو وات. ساعة (25KW.hr). متوسط الكثافة والحرارة النوعية للطبقة هو 3000 كجرام/م³، 800 جول/كجرام.°م على التوالي.
الحل:

$$\frac{Q_s}{V_s} = \rho_s C_p \Delta T$$

$$= 3000 - 80.20$$

$$= 4.8 \times 10^7 \text{ J/m}^3$$

$$= \frac{4.8 \times 10^7}{3.6 \times 10^3 \times 10^3} \text{ Kw-hr/m}^3$$

$$= 13.3 \text{ KW-hr/m}^3$$

حجم التخزين المطلوب هو

$$V_s = \frac{25}{13.3} = \frac{\text{Kw-hr}}{\text{Kw-hr/m}^3}$$

$$= 1.88 \text{ m}^3$$

$$M = \rho_s V_s$$

الكتلة هي

$$= 3000 \times 1.88 = 5639 \text{ Kg}$$

مثال:

منزل شمسي صغير معزول جيداً يحتاج متوسط إمداد حرارة داخلية مقدار واحد كيلوات ساعة (1KWh). جنباً إلى جنب مع زيادة حرارة الإضاءة..الخ، هذا سوف يعمل على استمرار درجة الحرارة الداخلية 20°م. تقرر بناء تخزين للماء الساخن في حوض مستطيل حيث قمته تكون أرضية المنزل، بمساحة 200متر مربع. التسخين يجب أن يكون مناسباً لمدة 100 يوم وكذلك كل الفقد الحراري من الخزان يمر بالتوصيل الحراري خلال الأرضي، ومع تبريد الماء من درجة الحرارة الأولية 60°م إلى النهائية 40°م، أحسب

1- حجم وعمق الخزان.

2- كثافة الطاقة للتخزين.

أفترض كثافة الماء = 1000 كجرام/متر مكعب

Cp = 4200 جول/كجرام.°م

الحل:

$$\begin{aligned}
 1- \text{الحرارة المطلوبة للمنزل الشمسي } Q_s &= 1\text{KW} \\
 &= 1\text{KW} \times 100 \text{ days} \times 24 \text{ h/day} \times 3.6 \text{ MJ KW/hr} \\
 &= 8640 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

لدينا المعادلة الآتية :

$$\frac{Q_s}{V_s} = \rho_s C_{ps} \Delta T$$

حجم الماء

$$V_s = \frac{Q_s}{\rho_s C_{ps} \Delta T}$$

$$[\Delta T = 60 - 40 = 20^\circ\text{C}]$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8640}{1000 \times 4200 \times 20} \\
 &= 103 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

عمق الخزان = الحجم / المساحة

$$= \frac{103}{200} = 0.5\text{m}$$

2- كثافة الطاقة للتخزين. كثافة الطاقة للتخزين المستخدم أعلا من 40°C

$$\frac{Q_s}{V_s} = \frac{8640}{103} = 84 \text{ MJ/m}^3$$

مثال:

أحسب تخزين الحرارة لوحدة الحجم لكبريتات الصوديوم المائية (ملح جلوفر $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)، عندما تكون درجة حرارته ارتفعت من 27°C إلى 37°C . ملح جلوفر له الصفات الآتية:

نقطة الانصهار 32°C

الحرارة النوعية (صلب) 1926 جول/كجم. $^\circ\text{C}$

الحرارة النوعية (سائل) 2846 جول/كجم. $^\circ\text{C}$

الحرارة الكامنة 2.4×10^6 جول/كجم

الكثافة 1600 كجم/م³

تخزين الطاقة الشمسية

أحسب كذلك الحجم المطلوب لتخزين 25 كيلوات-ساعة من الطاقة وعين نسبة الطاقة المخزنة بالحرارة الكامنة (Latent heat).

الحل :

الحرارة المحسوسة يتم تخزينها عند ارتفاع درجة حرارة الصلب من 27 إلى 37°م وعند تسخين السائل من 32 إلى 37°م. إجمالي الحرارة المحسوسة المخزنة لوحدة الحجم هي:

$$\frac{Q_s}{V_s} = P_s C_{ps} (T_{sat} - T_1) + P_s C_{pL} (T_{sat} - T_2)$$

حيث:

Cps = الحرارة النوعية للصلب

CpL = الحرارة النوعية للسائل

T1 = درجة الحرارة الأولية

T2 = درجة الحرارة النهائية حتى يتم تسخين السائل

$$\frac{Q_s}{V_s} = 1600 \cdot 1926 (32-27) + 1600 \cdot 2846 (37-32)$$

$$= 3.8 \times 10^7 \text{ J/m}^3$$

$$= \frac{3.8 \times 10^7}{3.6 \times 10^3 \times 10^3} = 10.6 \text{ Kw-hr/m}^2$$

$$= 10.6 \text{ KW-hr/m}^2$$

تخزين الحرارة الكامنة =

$$\frac{Q_s}{V_s} = P_s \cdot L = 1600 \times 24 \times 105$$

$$= 3.84 \times 10^8 \text{ J/m}^3$$

$$= \frac{3.8 \times 10^8}{3.6 \times 10^3 \times 10^3}$$

$$= 107 \text{ KW-hr/m}^2$$

إجمالي التخزين يكون

$$(107 + 10.6) = 117.6 \text{ KW-hr/m}^3$$

الجدم المطلوب لتخزين 25 كيلوات ساعة طاقة يكون

$$V_s = 25/117.6 = 0.21 \text{ m}^3$$

نسبة تخزين الطاقة بالحرارة الكامنة

$$= \frac{107}{117.6} \times 100 = 90.9 \%$$

التخزين الكهربى : (Electrical storage)

نظرياً المكثفات السعوية (Capacitors) يمكنها تخزين كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية لفترات زمنية طويلة. إجمالى الطاقة المخزنة هي :

$$H_{\text{Cap}} = \frac{1}{2} V \epsilon E^2$$

حيث :

V = حجم العازل (Dielectric)

ϵ = ثابت

E = قوة المجال الكهربى

قوة المجال الكهربى تكون محدودة بقوة العطل (E_{br} Break down) للعازل. لذلك، فإن الطاقة الكهربائية التى يمكن تخزينها فى العازل تكون محدودة. حالياً أفضل مادة عزل حالياً هي الميكا (Mica). عملياً، بسبب أن قدرة التوصيل للعازل لن تكون معدومة، فإنه سيكون هناك دائماً فقد بالتسرب. حالياً السعة التخزينية (Capacitive storage) تكون اقتصادية فى أوقات لا تزيد عن 12 ساعة. لزيادة هذا الوقت يلزم إجراء الأبحاث. لذلك فى حالة عدم وجود مواد عزل رخيصة وأحسن لتخزين الطاقة الكهربائية فى التخزين السعوى (التكاثفى) على مستوى كبير سيظل غير اقتصادى. حيثما المكثفات السعوية (Capacitors) تخزن طاقة كهربية عند فرق جهد عالى وتيار منخفض، فإن التخزين المحارض الحثى (Inductor storage) يكون عند فرق جهد منخفض وتيار عالى. الطاقة المخزنة فى المحارض الحثى (Inductor) هي :

$$H_{\text{Ind}} = \frac{1}{2} V \mu H m^2$$

حيث :

μ = نفاذية المادة

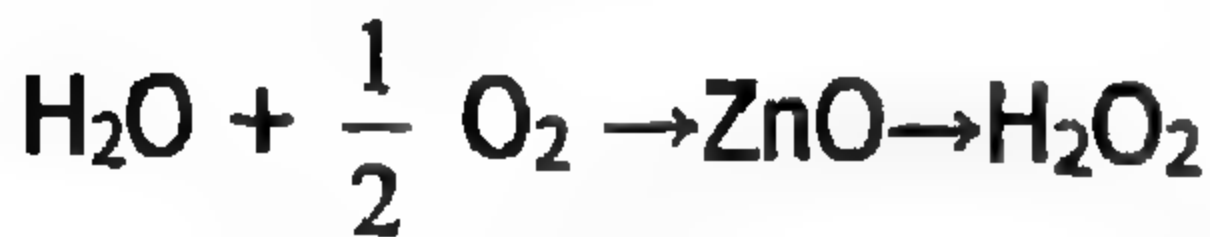
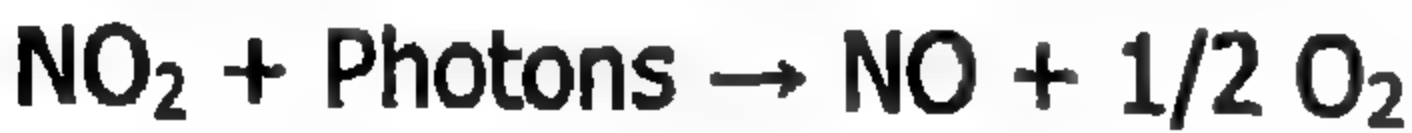
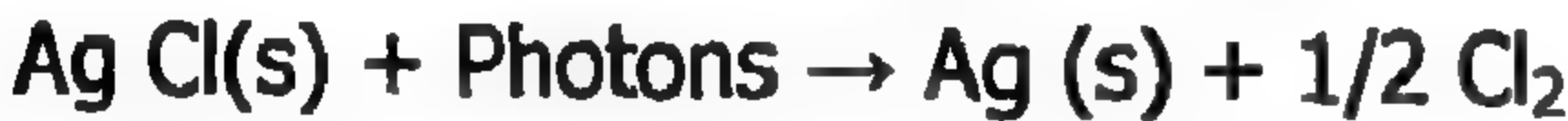
Hm = كثافة المجال المغناطيسى

لتكون (H_{Ind}) كبيرة فإن كلا من H_m , μ يجب أن يكونا كبيران. بالتالى تكون المجالات المغناطيسية العالية مطلوبة. هذا سوف يخلق قوى ميكانيكية كبيرة. والتى يتم تحملها بواسطة منشآت قوية. العملية العكسية لتصريف الطاقة المخزنة تخلق مشكلة ثانية، حيث أنها تشمل فتح الدوائر الحاملة لتيارات ضخمة.

يمكن تخزين الطاقة الكهربائية فى الشكل الكيميائى فى الخلية الأولية (بطارية سائلة) هذا هو أبسط تجهيز للتخزين. ليس له أجزاء متحركة، كفاءته عالية، وخرجه يكون فى شكل كهرباء. وهو يشمل قطبين (أنود وكاثود) واليكتروليت (Electrolyte)، والذى هو موصل أيونى.

الطاقة المخزنة بخلايا الوقود هذه، تكون منخفضة جداً بالنسبة لحجم معين وتكاليف التخزين عالية الارتفاع. تلك الأنواع من الخلايا هى الزئبق، الفضة، الزنك، خلية الهواء (Air cell). خلية المغنسيوم الجافة (Lalande)، الزئبق - الكربون، الرصاص الحامض (Lead Acid)، النيكل - الحديد وأخيراً بطاريات النيكل الكادميوم. التخزين فى شكل وقود (التخزين الكيميائى):

من الممكن تجهيز بطارية تخزين التى فيها يتم إعادة توليد مواد التفاعل بالتفاعل الكيميائى الضوئى (Photochemical) الذى يتم بالإشعاع الشمسى. فى هذه الحالة يعمل المحلول نفسه كبطارية تخزين. البطارية يتم شحنها بالطريقة الكهربائية لضوئية وصرفها كهربياً عند الحاجة. بعض التفاعلات التى يمكن ذات فائدة لتخزين الطاقة الشمسية هى:



كل من تلك التفاعلات له بعض السلبات التى يلزم التغلب عليها قبل استخدامها لتخزين الطاقة.

- 1- معدل التفاعل العكسى يتم إبطاؤه عندما يكون أحد المنتجات راسب.
- 2- تفاعلات جانبية يجب أن تكون موجودة.
- 3- التفاعل العكسى يمكن أن يكون سريعاً جداً.
- 4- المركب يمكن أن يكون غير مذاب.
- 5- الطاقة يمكن أن تكون صغيرة.

6- الضوء يمكن أن يكون ذو طول موجة صغير جداً من الممكن كذلك تحليل المياه كهربياً بالطاقة المولدة من الطاقة الشمسية، تخزين الأكسجين والهيدروجين ثم إعادة الجمع في خلية وقود لإعادة اكتساب الطاقة الكهربائية الهيدروجين هو واحد من أهم أنواع الوقود كفاءة.

يمكن استخدام الطاقة الشمسية بالتخمر اللاهوائي للطحالب لإنتاج غاز الميثان (CH_4). الميثان وقود ممتاز، الذي يكون مستقراً عند درجة حرارة الغرفة والذي يتفاعل مع الأكسجين لتوفير درجات حرارة عالية، حيث تنطلق الطاقة المخزنة في شكل حراري.



الطاقة الحرارية تم تحويلها إلى طاقة كيميائية للميثان بكفاءة 2%، لذلك، فإن كيلومتر مربع واحد من حقول الطحالب يمكنه إنتاج كمية من الميثان تخزن 4 ميجاوات (4MW) من الطاقة الشمسية المخزنة. الطحالب يمكن أن تنمو في الصرف الصحي المنزلي المحمل بغذاء الطحالب لإنتاج الميثان. الطحالب التي تم نموها يتم أولاً حصادها ثم معالجتها لإنتاج حوالي 5% من الصلب، الباقي يكون ماء. المادة الصلبة يتم عندئذ تعريضها للتخمر اللاهوائي وبعد ثلاث أسابيع، فإن نصف المادة العضوية يمكن تحويلها إلى الميثان.

ثم ذكر التحلل الضوئي (Photosynthesis) كطريقة لتحويل الطاقة الشمسية. نواتج التفاعل هي الأكسجين، (H_2CO) والذي هو جزء من الكربوهيدريت، في وجود الضوء والكلوروفيل.



الكربوهيدريت مادة مستقرة عند درجة حرارة الغرفة، ولكن عند درجة حرارة مرتفعة يكون التفاعل معكوساً، مطلقاً الطاقة المخزنة في شكل حراري.

التخزين الكيميائي الحراري للطاقة : Thermochemical Energy Storage

نظم التخزين الكيميائي الحراري مناسبة للتطبيقات ذات درجة الحرارة المتوسطة والعالية فقط. لتخزين حرارة درجة حرارتها عالية تظهر بعض التفاعلات الكيميائية العكسية لتكون جذابة جداً. فوائد التخزين الكيميائي الحراري تشمل تخزين كثافة طاقة عالية عند درجات الحرارة العادية لمدة زمنية طويلة بدون فقد حراري وجهد ضخ الحرارة ونقل الطاقة خلال مسافات طويلة. هذا النوع من التخزين موضح بالتفاعل الافتراضي



التفاعل على نحو اليمين يحدث مع امتصاص الحرارة من الطاقة الشمسية والحرارة يتم تخزينها في شكل منتجات عندما تكون الحرارة مطلوبة، المنتجات يتم إعادة خلطها للسماح بحدوث التفاعل العكسي مع إطلاق الحرارة. إحدى المواد الأصلية الداخلية في التفاعل (Original Reactant) يتم إعادة توليدها مكملّة الدورة. كل من التفاعلات الأمامية والعكسية يحدث عند درجة حرارة ثابتة ولكن مختلفة، التفاعل الأمامي (ناحية اليسار) يحدث عند درجة حرارة عالية مقارنة بالتفاعل العكسي.

المعيار الأساسي للفائدة التي يجب إتباعها في اختيار التفاعلات الكيميائية الحرارية هي كالاتي:

أ- التفاعل يجب أن يتم تقريباً خلال مجال درجة الحرارة للمجمعات (Collectors) المتاحة.

ب- التفاعل العكسي يجب أن يكون تاماً تقريباً عند درجة الحرارة التي عندها يتم استخلاص الطاقة المفيدة.

ج- التفاعل يجب أن يكون قادراً على إطلاق الطاقة للاستخدام عند درجات الحرارة القريبة لتلك التي يتم إمدادها بواسطة الجامع.

د- الطاقة الممتصة لوحدة الحجم للمنتجات المخزنة يجب أن تكون كبيرة ما أمكن لخفض حجم التخزين، والمنتج يجب أن يكون في شكل سائل.

هـ- التفاعل يجب أن يكون عكسي تماماً بدون أي تفاعلات جانبية.

و - التفاعل يجب أن يكون سريعاً.

ز - يكون المرغوب فيه تغيرات المحتوى الحراري (Enthalpy) للتفاعل.

ح- بالنسبة للتفاعل بدون عامل وسيط (Uncatalyzed)، يجب أن تكون المنتجات سريعة القابلية للفصل قبل التخزين. بالنسبة للتفاعل باستخدام العامل الوسيط يجب أن تكون المنتجات مستقرة خلال فترة التخزين والعامل الوسيط يجب أن يكون من السهل فصله من المنتج.

بالإضافة، من الواضح أنه يفضل أن تكون الكيماويات المطلوبة متاحة وبسرعة وبتكلفة منخفضة وسهلة التداول.

الآتي بعض من التفاعلات الكيميائية التي يتم توضيحها هنا من ناحية ثباتها المبني على البيانات السابقة وتكون مناسبة للاستخدام في التطبيقات الشمسية.

الجدول (6/9) الآتي يبين تفاصيل ثلاث تفاعلات

الطاقة المخزنة لوحدة الحجم لمادة التخزين كيلو جول/م ³	درجة حرارة التفاعل العكسي °م	درجة حرارة التفاعل الأمامي °م	التفاعل
$10^3 \times 209.4$	610	780	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3\text{H}_2$
$10^3 \times 460.6$	590	1025	$\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2$
$10^3 \times 2143.7$	435	498	$\text{NH}_4 \text{HSO}_4 \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$

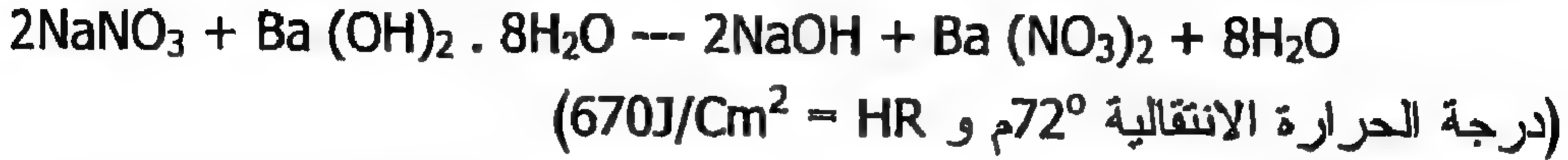
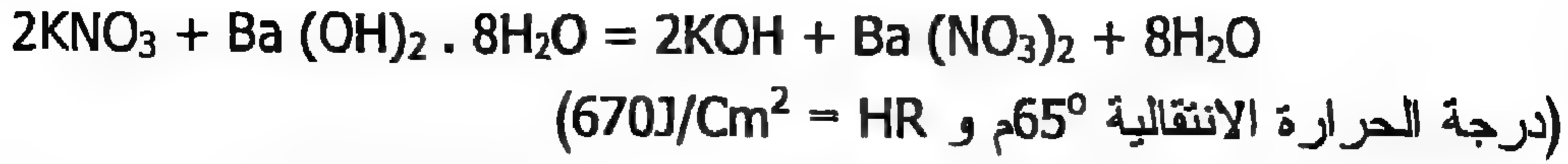
في الجدول السابق التفاعل الأول هو تفاعل الميثان مع الغاز (Methane syngas) والذي يتم حدوثه في وجود النيكل كعامل وسيط. ملائمة التفاعل هي أن التقنية المطلوبة متاحة. بالإضافة في التفاعل العكسي يستخدم تجارياً لتصنيع الميثان. على مستوى كبير. المشكلة الرئيسية هي أن المنتجات CO , H_2 هي غازات ويجب تخزينها عند ضغط حوالى 100 بار (10^7 نيوتن/م²). التفاعل الثانى وهو خاص بتحلل ثالث أكسيد الكبريت إلى ثانى أكسيد الكبريت والأكسجين فى التفاعل الأمامى ثم إعادة اتحاد ثانى أكسيد الكبريت والأكسجين لتكوين ثالث أكسيد الكبريت فى التفاعل العكسى، فى وجود العامل الوسيط. نظام التخزين هذا تم اقتراحه للاستخدام فى 100 ميغا وات محطة طاقة برج مركزى يعمل بدورة (Brayton) باستخدام الهيليوم كمائع تشغيل. السلبية المصاحبة لهذا النظام هي أنه رغم أن SO_2 يمكن تخزينه فى شكل سائل، فإن O_2 يتم تخزينه فى شكل غاز تحت ضغط حوالى 100 بار (10^7 نيوتن/م²). مشاكل التآكل والأمان يمكن كذلك أن تتطلب اهتمام خاص. فى التفاعل الثالث ليست هناك حاجة للعامل الوسيط وهو يحقق كل البيانات السابق ذكرها.

التحويل المزدوج لمعكوس زوج من الأملاح بدرجات حرارة انتقال محببة ومحتوى حرارى عالى (High Enthalpy) للانتقال يكون مناسباً لتخزين الحرارة عند درجة حرارة منخفضة. النظام باستخدام اثنين من الأملاح لهما كاتايونات مختلفة وأن أيونات مختلفة يسمى زوج ملح تبادلى (Reciprocal Salt pair). فى هذا النظام للتفاعل يكون ممكناً.



درجات حرارة الانتقال التقريبية لأكثر من 500 تبادل زوج أملاح (Reciprocal salt pairs) تم تعيينه بواسطة (Reiter) من بينها حوالى 30 زوج يبدو أنها مناسبة لتخزين الحرارة الشمسية.

أثنين من بين أفضل مثل هذا الزوج (Pairs) المتبادل متضمنا الملح المائي Ba (OH)₂ · 8H₂O تم بحثه بواسطة (Reiter, rota) في عام 1984 معملياً. زوج الملح هذا هو

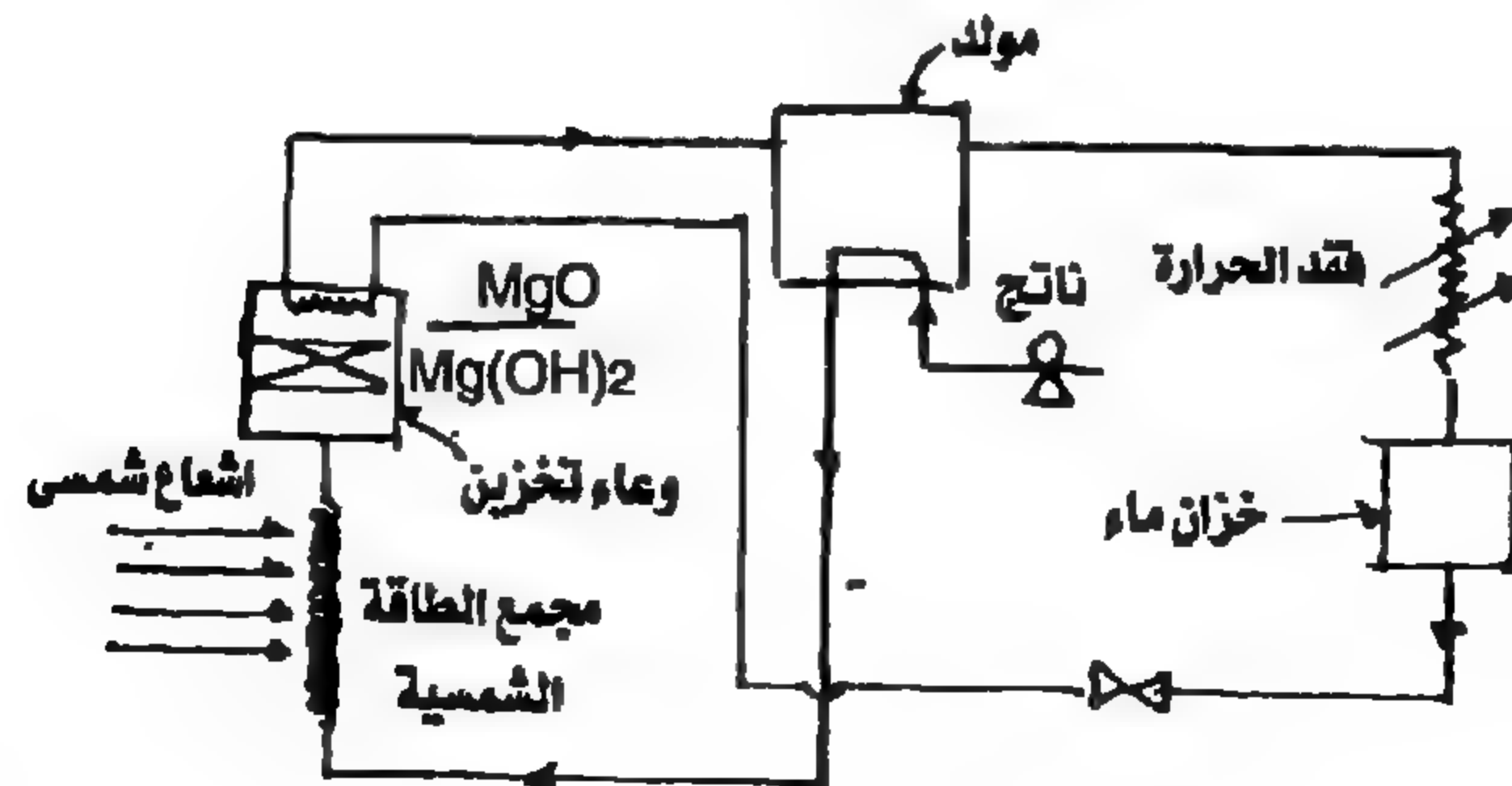


لقد أظهرت أبحاث مواد التخزين الحراري درجات حرارة انتقال محببة، محتويات حرارية عالية للانتقال وتبرير فائق غير كبير. نوع تخزين الطاقة الحرارية متضمناً عملية كيميائية عكسية. أوكسيد/إيدروكسيد كانت تحت البحث لعدة سنين. التفاعلات الأساسية هي من النوع الآتي:



حيث M = مختلف معادن التربة القلوية مثل المغنسيوم، الكالسيوم والباريوم. التفاعل إلى الأمام حيث الأيدروكسيد يتم تسخينه إلى الأوكسيد ويحدث فقد المائي (Dehydration) في مجال تخزين الطاقة. التفاعل العكسي حيث الماء يتم إضافته إلى الأوكسيد وحدث تقييم لكمية كبيرة من الحرارة، هذا هو مجال استعادة الطاقة (Energy Recovery Phase). معظم الأكاسيد الغير عضوية تنتج طاقة حرارية عند درجات حرارة عالية خلال دورة التميؤ.

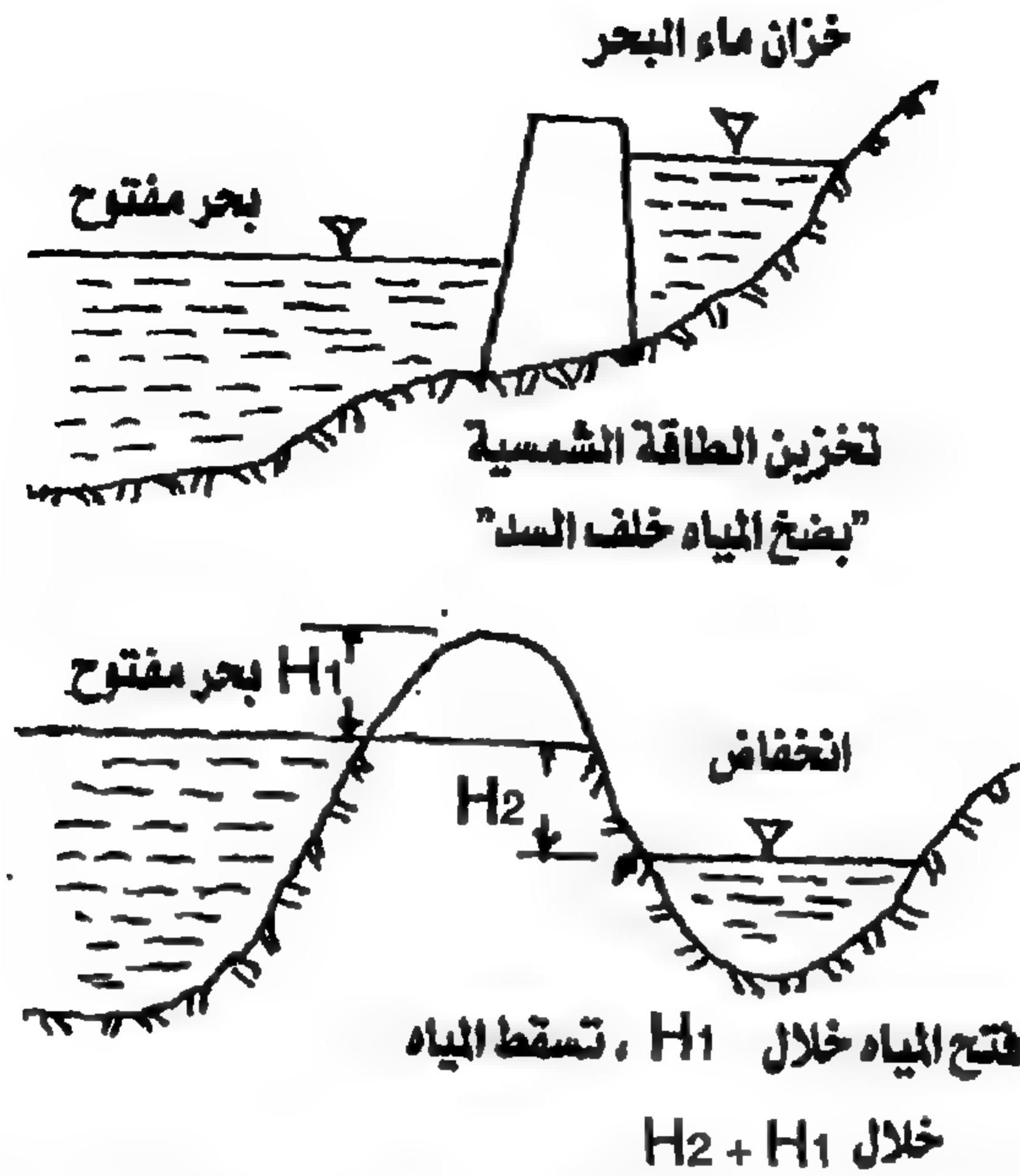
تم توضيح طرق عديدة لأخذ الطاقة الحرارية في ومن وعاء التفاعل. بالنسبة للنظم الصغيرة مثل التي يمكن اعتبارها لنظم التسخين والتبريد متوسطة الحجم، فإن المفهوم الأساسي الموضح في الشكل (4/9) يكون مثالياً.



شكل (4/9) مبدأ مفهوم تخزين الأوكسيد / الأيدروكسيد

عيوب زمن التخزين المحدود قبل فقد الطاقة نتيجة عمليات الانتقال الحرارى الطبيعية نتيجة لعمليات الانتقال الحرارى الطبيعية للحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة يتم إيعادة فى الأداء الحرارى الكيمىائى. من الممكن كذلك تحويل الطاقة الميكانيكية أوطاقة الوضع واستعادة طاقة الوضع عند الحاجة لتوفير التخزين للنظم الميكانيكية. مثل هذا النظام يمكنه كمثال ضخ المياه إلى خزان على خلال الفترات حيث الإشعاع الشمسى يكون متاحاً واستعادة الطاقة بتدفق المياه خلال التربين عند الحاجة إلى الطاقة. يوجد العديد من الخطوط الساحلية القريبة من المحيطات والبحار فى المناطق الجافة والتي يمكن استخدامها للتخزين الهيدرولى للطاقة الشمسية. يمكن بناء سد خلال وادى ليس بعيداً عن البحر (أو جسم ضخ من المياه). يمكن ضخ مياه البحر خلف السد باستخدام الطاقة الشمسية حيث يمكن إنتاج طاقة كهربائية بواسطة محطة توليد كهرومائية تقليدية. هذه الطريقة لتخزين الطاقة الشمسية وإنتاج طاقة تيار متغير (AC) مباشرة فى هذا الشكل الماء يعمل فقط كمائع تشغيل بمجرد تأمين الحجم الأولى للماء، فإن التدفق المطلوب الوحيد يكون ذلك الضرورى لتعويض الفقد فى الماء بالتبخير (والتسرب). لذلك فإن المخطط ليس من الضرورى أن يكون قريباً من المسطح المائى الضخم.

طريقة أخرى لتخزين الطاقة الشمسية فى شكل طاقة هيدروليكية هى خلال تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة هيدروليكية كهربائية (Helio - Hydroelectric Power conversion - HHE) طبقاً لطبوغرافية المنطقة، يمكن تخزين الطاقة الشمسية فى شكل هيدرولى بطرق كثيرة. أولاً، فى حالة وجود منخفض طبيعى قريباً من حد الشاطئ، أحد الطرق لإحضار الماء من البحر المفتوح إلى المنخفض هو بحفر قناة مفتوحة خلال الصخور والتلال. ولكن هذه الطريقة تكون مكلفة جداً. نفس الطريقة يمكن استخدامها لاستكشاف هذه المنخفضات. فى هذه الحالة لا توجد حاجة للضخ الشمسى المباشر. حيث المرحلة الأولى، يمكن استخدام طاقة كهربائية من مصدر آخر لبدء ضخ المياه من البحر. هذا المصدر يمكن أن يكون صغيراً جداً، مع بدء سقوط المياه فى المنخفض، فإن الطاقة الناتجة يمكن استخدامها كلية لزيادة الضخ لحين الوصول إلى حالة ثبات. المصدر الأصلى المثير للطاقة يمكن عندئذ عزله، مع استمرار التغذية الاسترجاعية (Feed Back) يمكن أن تستمر لضخ متوسط التدفق المطلوب شكل (5/9).



شكل (5/9) تخزين الطاقة الشمسية بالنظم الهيدروليكية

التخزين المائي (Hydro storage) طريقة معقولة وذات كفاءة. الطاقة اللازمة لضخ الماء إلى أعلا التل يمكن إعادة تحويلها بنسبة كفاءة حوالى 65 إلى 75%، نظراً لعدم وجود دورة حرارية حركية (Thermodynamic cycle). يبدو أن التخزين المائي (Hydro storage) مثالى بالنسبة لتخزين الطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة. محطة الطاقة الشمسية تنتج طاقة بأقصى معدل خلال اليوم وتكون فى الاحتياط خلال الليل، المحافظة فقط على درجة الحرارة المناسبة للنظام بحيث يكون جاهزاً لإنتاج الطاقة فى اليوم التالى بمجرد وصول نظام المجمع الشمسى إلى درجة حرارة التشغيل.



الفصل العاشر

البرك الشمسية

Solar Ponds

1- مقدمة :

البرك الشمسية تجمع بين جمع الطاقة الشمسية وتخزين الحرارة المحسوسة (Sensible Heat). لقد لوحظت التغيرات في درجة الحرارة في البحيرات الطبيعية ذات تدرجات تركيز عالية من الأملاح المذابة (أي المحلول المركز عند القاع والمحلول المخفف عند القمة). هذه الظاهرة افترضت احتمال إنشاء مجمعات شمسية، أفقية على مستوى كبير في شكل برك. لم يتم اقتراح بدون الحمل الحراري (Non-convective) كطريقة بسيطة وغير مكلفة نسبياً لجمع وتخزين الطاقة الشمسية على مستوى كبير.

الخاصيتين الأساسيتين للطاقة الشمسية، هما تخفيفها (Diluteness) والطبيعة المتقطعة، هما كذلك أسباب عدم حشد الطاقة الشمسية على مستوى كبير في الوقت الحالي. أولاً، المجمعات المصنعة المستخدمة لمواد مثل الزجاج، المعادن، الخشب.. الخ لها حدود حجمية ولذلك فإنه يكون من المناسب التوصيل ما بين عدد كبير منها بطريقة مناسبة وذلك لجمع كمية كبيرة من الطاقة الشمسية. ثانياً لإمداد الطاقة عند الحاجة سوف يستلزم نظام لتخزين الطاقة ونظام إعادة تحويل وذلك للمواءمة مع التغيرات في الأشمس بسبب غطاء السحب، والتأثيرات الموسمية واليومية (Seasonal and Diurnal).

البرك الشمسية توفر طريقة اقتصادية حول هاتين المشكلتين وذلك باستخدام كتلة من الماء لكل من المجمع والتخزين للطاقة الشمسية. الطاقة المخزنة في شكل حرارة (60° إلى 100° م) والذي يمكن أن يكون مناسباً لاستخدامات عديدة مثل تدفئة الفراغ وتسخين العمليات الصناعية. في المقابل محركات دورة رانكن العضوية (Organic rankine cyck) يمكن استخدامها للحصول على طاقة ميكانيكية و/أو طاقة كهربائية.

تمت دراسة البرك الشمسية من الناحية التجريبية والتحليلية في إسرائيل في روسيا واليابان.. الخ.

استخدام بركة التدرج الملحي الشمسية ذات مساحة 400 متر مربع في عام 1981 بواسطة (نيلسون وكمال). فقد وجد أن الفقد الحراري إلى الأرض زاد من التدرج الحراري بالبركة. في تقرير عام 1981 أن البرك الشمسية ذات التدرج الملحي في جامعة نيومكسيكو قد وصلت إلى درجة حرارة $8-1^{\circ}$ م، وكانت تغلي خلال شهر يوليو 1980. ثبات واستقرار تدرجات الملح ودرجة الحرارة حدث لهم اضطراب شديد عندما بدأت البركة في الغليان. نظراً لأن تلك البركة كانت ذات حجم صغير نسبياً (قطر 13

متر)، فإنه يكون من المتوقع أن البرك الكبيرة سوف تكون أكثر حساسية للغليان، وذلك في حالة عدم استخلاص الحرارة.

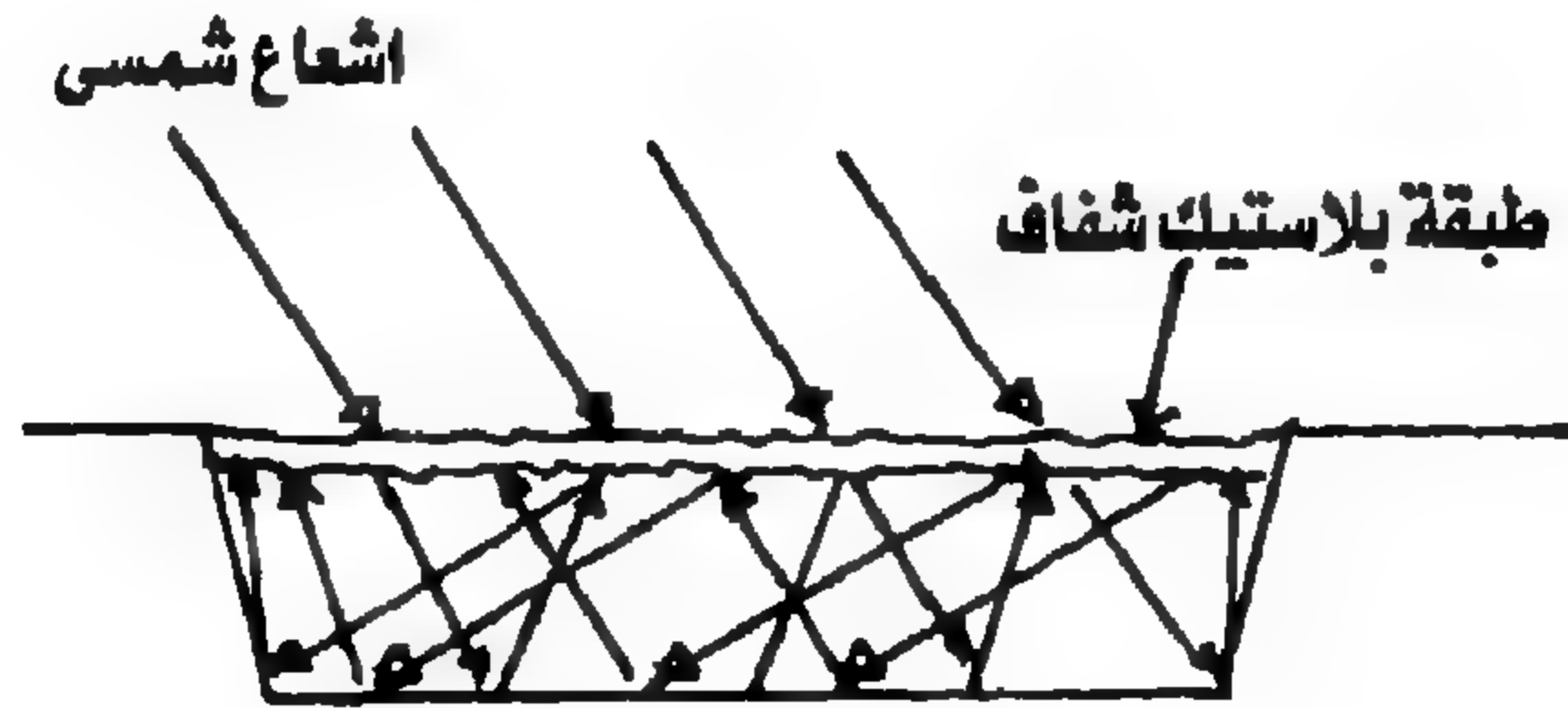
احتمال استخدام البرك الشمسية لتوفير الماء الساخن للتجمعات السكانية تمت دراسة عام 1981. لقد أظهرت الدراسة أنه سوف يكون مجدياً من الناحية الاقتصادية والتقنية استخدام البرك الشمسية لإمداد المتطلبات الحرارية للمجتمع. تم تقدير وتوفير البرك الشمسية لتوفير كل المياه الساخنة المنزلية وكذلك التدفئة المنزلية لتجمعات في واشنطن، تكساس. وقد وجد كمثال، أن البرك الشمسية ذات قطر 100 متر وذات طبقة تخزين بعمق 1 متر سوف توفر الطاقة الكافية لتشغيل وحدة التبريد بالامتصاص أو دورة راتكن لتلبية متطلبات المكيفات المنزلية لعدد 50 منزل. لقد تم اختبار تطبيقات البرك الشمسية بدون الحمل الحراري لتدفئة المنازل وتوفير الحرارة اللازمة للعمليات الصناعية. ولقد قرر أن التكلفة الرئيسية لاستخدام التدرج الملحي هو كمية الملح الضروري لاستمرار تدرج الملوحة.

1- مبدأ العمل للبرك الشمسية :

البركة الشمسية هي تجهيزه بسيطة لجمع وتخزين الحرارة الشمسية - البرك الطبيعية تحول الإشعاع الشمسي إلى حرارة، ولكن الحرارة تفقد سريعاً خلال الحمل الحراري (Convection) في البركة والتبخير من سطحها. على الجانب الآخر، فإن البركة الشمسية، تصمم لخفض الفقد الحراري بالحمل الحراري وبالبخر بحيث أنه يمكن جمع كمية مفيدة من الحرارة وتخزينها. البرك الشمسية يمكن تقسيمها بحاملة للحمل الحراري (Convecting) أو غير ذات الحمل الحراري (Non convecting).

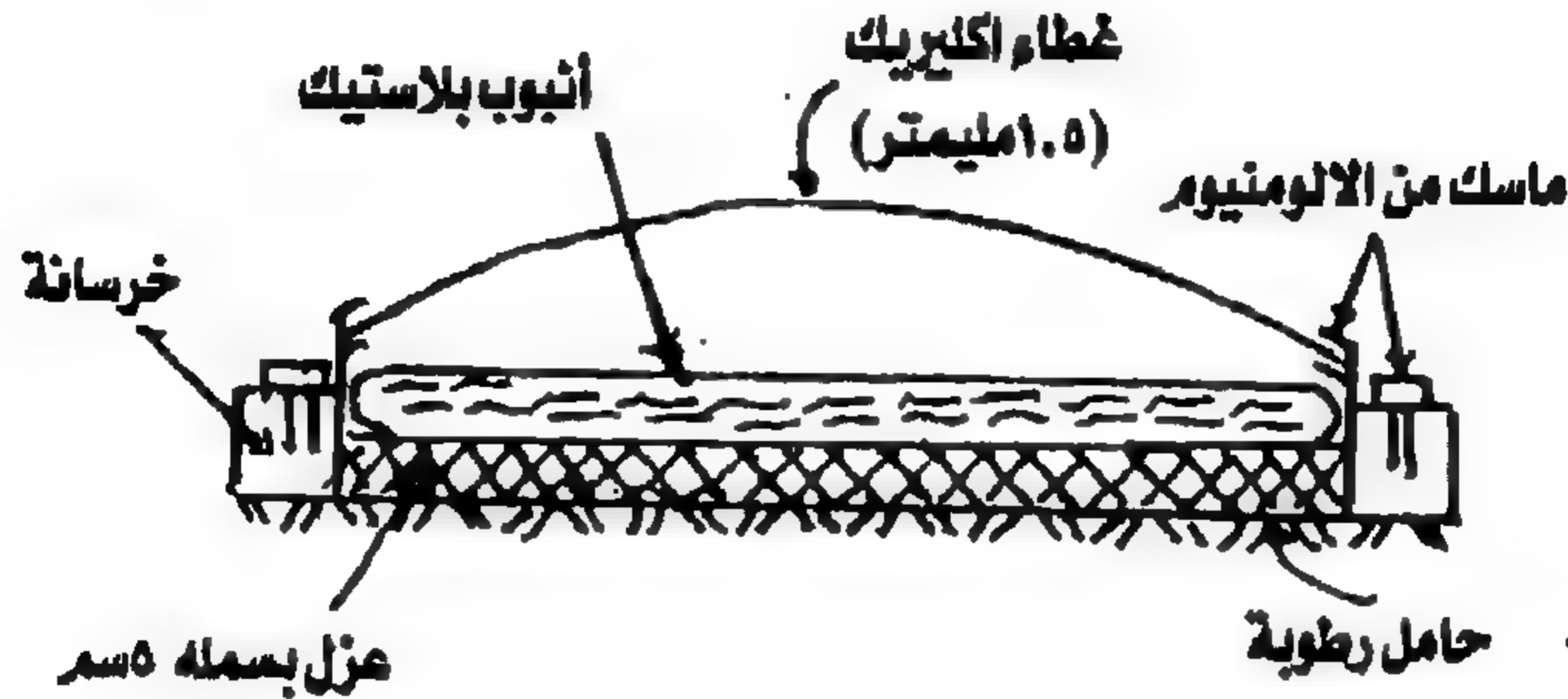
البرك الشمسية بالحمل الحراري: (Convecting solar Bonds)

البرك الشمسية بالحمل الحراري تقلل الفقد الحراري لكونها مغطاة بغشاء شفاف أو زجاجي شكل (1/10).



شكل (1/10) البركة الشمسية بالحمل الحراري

أحد أنواع البرك الشمسية الحرارية بالحمل الحرارى تستخدم أنبوب مملوء بالماء، كما هو موضح فى الشكل (2/10). كل نموذج للبركة يشمل كيس بلاستيك طويل وضيق بمقياس 5 سم x 60 سم ومحتويًا على الماء بعمق 5 - 10 سم. الكيس له سطح شفاف يسمح بانتقال ضوء الشمس ولمنع الفقد بالتبخر. قاع الكيس يكون أسود ليمتص ضوء الشمس. طبقة العزل أسفل الكيس البلاستيك تقلل الفقد الحرارى نحو الأرض. أحد الطبقتين يمكن تقويستها فوق كيس الماء لمنع الفقد بالحمل الحرارى والإشعاع.



شكل (2/10) مقطع لبركة شمسية ضحلة

فى هذا النوع من البرك الشمسية، يزال الماء الساخن متأخراً بعد الظهر ويتم حفظه فى خزانات معزولة. مادة الشفافة الزجاجية للبركة الشمسية قد تشمل طبقة من بولى فينيل كلورايد (PVC)، وأسطح شفافة راتنة من الأكليريك. الأسطح التى تغطى الأكياس البلاستيك تحجب الأشعة فوق البنفسجية (UV) وتزيد إلى حد كبير من زمن الخدمة للأكياس البلاستيك.

البرك الشمسية بدون الحمل الحرارى (Non - convecting solar ponds)

البرك الشمسية بدون الحمل الحرارى تمنع الفقد الحرارى بإعاقه الحمل الحرارى إلى قوى سببها الطفو الحرارى. فى البرك الشمسية بالحمل الحرارى، يتم انتقال الإشعاع الشمسى خلال الماء نحو القاع، حيث يتم امتصاصه، بالتالى فإن الماء الملاصق للقاع يتم تسخينه. قوى الطفو الطبيعية تسبب الارتفاع والصعود للمياه التى تم تسخينها، حيث تنطلق الحرارة إلى الجو عندئذ. فى البرك الشمسية بدون الحمل الحرارى، يمنع صعود الماء الساخن إلى السطح. البرك بدون الحمل الحرارى يمكن تثبيتها باللزوجة، أو الهلام (Gel) أو إلى الملح. بركة التدرج الملى هى النوع العادى من البرك الشمسية غير ذات الحمل الحرارى. والتى سيتم مناقشتها.

برك التدرج الملى : (Salt gradient ponds)

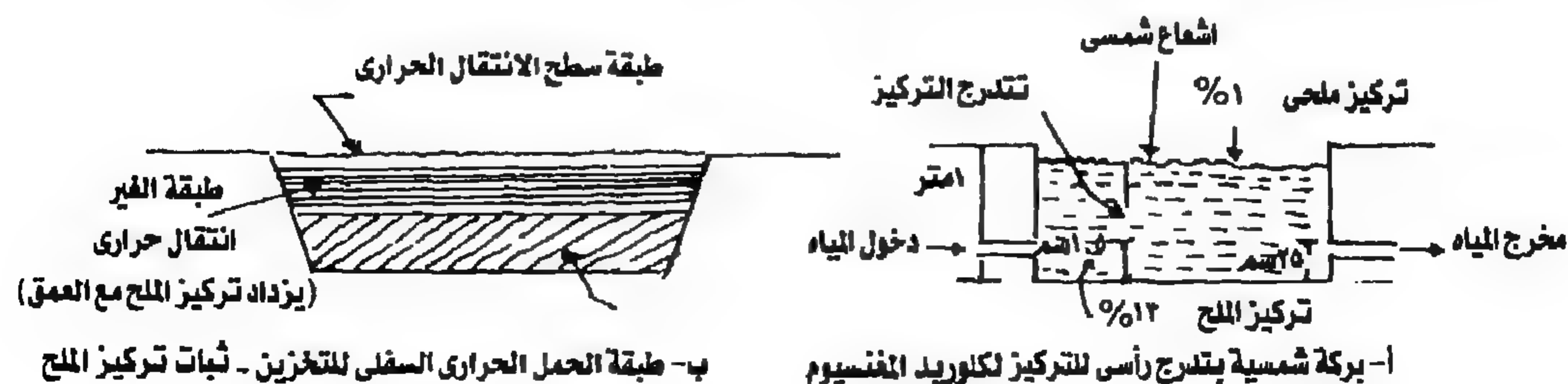
البركة الشمسية هى كتلة من الماء الضحل بعمق حوالى 1 - 1.5 متر ذات مساحة تجميع كبيرة، والتى تعمل كمصيدة حرارة. وهى تحتوى على أملاح مذابة لتوليد تدرج

كثافة ثابتة. الأملاح تحت إذابتها بتركيزات عالية قريباً من القاع، مع تقليل التركيز نحو السطح. الأملاح المستخدمة عادة لبرك التدرج الملحي هي كلوريد الصوديوم وكلوريد المغنسيوم، وتوجد أملاح كثيرة أخرى.

جزء من الإشعاع الشمسي الداخل إلى سطح البركة يتم امتصاصه خلال العمق والباقي الذي يخترق البركة يتم امتصاصه عند القاع الأسود. إذا كانت البركة قد تم ملئها بالماء العذب، فإن الطبقات السفلى تسخن وتمدد وترتفع نحو السطح. بسبب خلط الحمل الحراري والفقد الحراري عند السطح، فإنه يتم تحقيق ارتفاع صغير في درجة الحرارة في البركة. على الجانب الآخر، فإن الحمل الحراري يمكن إيعاده بالأداء الأولي للتدرج الذي يكفي للتركيز القوي للملح. في هذه الحالة، فإن التمدد الحراري في الطبقات السفلية الأكثر سخونة يكون غير كافياً لعدم استقرار البركة. مع تقييد الحمل الحراري، فإن الحرارة تفقد من الطبقات السفلى بالتوصيل الحراري فقط. بسبب التوصيل الحراري المنخفض نسبياً للماء، فإنه يعمل كعازل ويسمح بتكون درجات حرارة مرتفعة (أعلى من 90°م) في طبقات القاع.

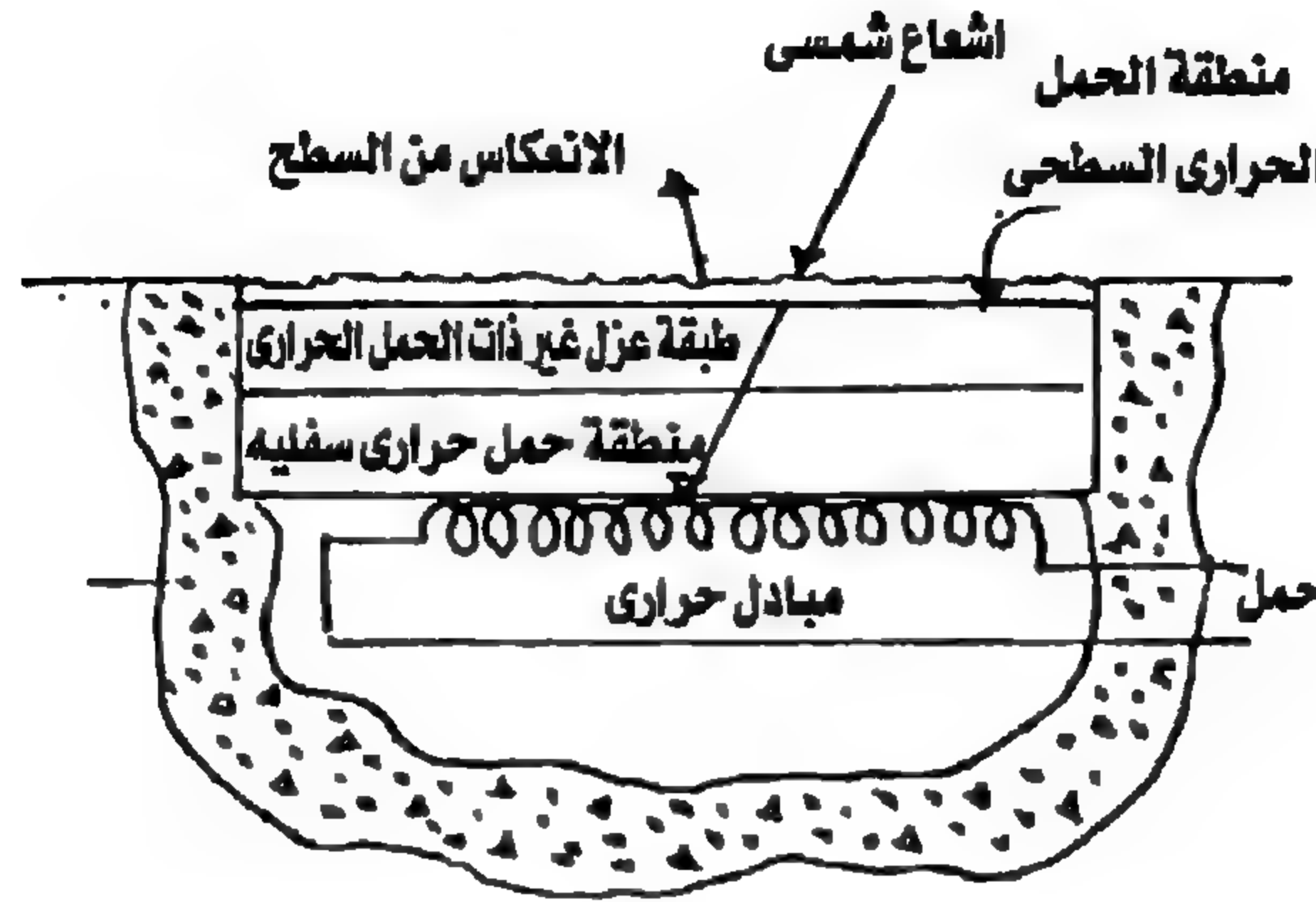
الطاقة يمكن استخلاصها من البركة باستقبال الماء في الطبقات الساخنة للبركة خلال مبادل حراري.

بركة التدرج الملحي الشكل (3/10 ب) تتكون من ثلاث طبقات. في الطبقة العليا، يحدث حمل حراري عمودي بسبب تأثيرات تبخير الرياح. لا يوجد غطاء غشائي أو زجاجي لتغطية هذه البركة. الطبقة التالية، التي يمكن أن تكون بسمك حوالي متر واحد تحتوي تركيز زائد من الملح مع زيادة العمق. هذه الطبقة ليست ذات الحمل الحراري، رغم أن درجة الحرارة قد تزداد مع العمق، بسبب أن تركيز الملح الأعلى مع زيادة العمق يوقف مفعول قوى الطفو الحراري. طبقة القاع هي طبقة حمل حراري ذات تركيز ثابت للملح أساساً، والتي توفر التخزين الحراري. برك غير ذات الحمل الحراري من هذا النوع عرفت أنها تسخن المياه إلى درجة حرارة الغليان.



تشكل (3/10) التدرج الملحي للبركة الشمسية

أحد الطرق لاستخلاص الحرارة من مثل هذه البركة بدون إحداث خلط غير مطلوب هو بوضع مبادل حراري أسفل المنطقة السفلية مباشرة كما هو موضح في الشكل (4/10).



شكل (4/10) بركة شمسية بالتدرج الملحي والمبادل المادي

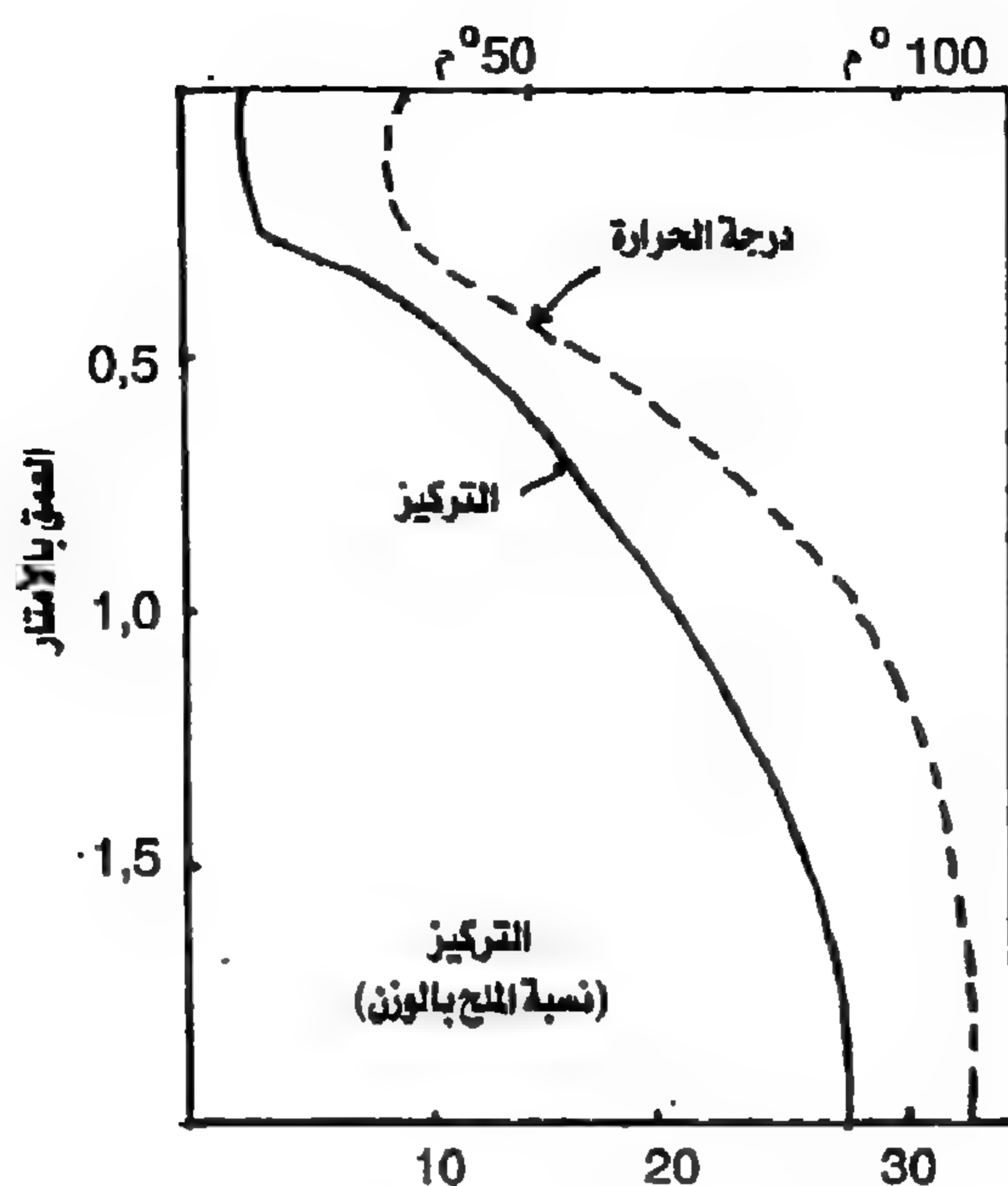
في البرك الشمسية ذات التدرج الملحي، يستخدم الملح المذاب لإنتاج طبقة من الماء ذات كثافات مختلفة . زيادة الملح، زيادة كثافة الماء تركيز الملح عند السطح يكون مخففاً - عادة أقل من 5% بالوزن ولذا فإن الماء يكون خفيف نسبياً. تركيز الملح يزداد بالتدرج مع العمق حتى القاع حيث يكون عالي جداً، حوالي 20%، لذلك، فإن البركة السطحية يكون لها ثلاث مناطق ذات الملوحة الآتية مع العمق.

1- منطقة الحمل الحراري السطحية أو منطقة الحمل الحراري العلوية من 0.3 إلى 0.5 متر والملوحة أقل من 5%.

2- منطقة غير ذات الحمل الحراري من 1 إلى 1.5 متر تزداد الملوحة مع العمق.

3- منطقة التخزين السفلية ذات الحمل الحراري من 1.5 إلى 2 متر الملوحة حوالي 20% =

التقسيم السابق للمنطقة، للبركة الشمسية ذات عمق 2 متر هو للتوضيح فقط، بينما العمق قد يتراوح ما بين 1 متر إلى 2 متر. عند القاع توجد منطقة التخزين، والتي هي نموذجياً تكون بعمق من واحد إلى 2 متر ولكن يمكن أن تكون صغيرة حتى نصف متر أو بعمق عدة أمتار مع زيادة عمق المنطقة، يزداد التخزين الحراري شكل (5/10).



شكل (5/10) درجة الحرارة والتركيز لبركه نموذجيه

المنطقة السفلى تحتجز لفترات طويلة، حيث تعيق تأثيرات التغيرات اليومية وحتى الموسمية. هذه الإمكانية للتخزين منخفض التكلفة هي واحد من المميزات الرئيسية للبرك الشمسية بالتدرج الملحي، يمكن سحب الطاقة ليلاً وكذلك خلال النهار. حتى خلال الفترات الطويلة لغطاء السحب أو حتى غطاء الثلوج فإن الطاقة المخزنة تظل متاحة. نظراً لأن المياه المالحة قريباً من القاع، تسخن فإنها تتمدد. ولكن، لا يمكنها أن ترتفع لأنها أكثر كثافة عن الماء الأقل ملوحة أعلاها. لذلك، فإن البركة الملحية تكون من النوع "بدون الحمل الحراري" أي (Non convecting)، والماء الساخن يظل محتجزاً في القاع. بعض الحرارة لا يزال يفقد بالتوصيل الحراري (Conduction) نحو السطح، ولكن هذه العملية أضعف من الحمل الحراري. المياه السفلية قد تسخن حتى إلى ما بعد نقطة غليان الماء النقي. أعلا درجة حرارة التي تم تسجيلها في البركة الشمسية هي 108°C .

طبقاً للمكان، نقاء الماء ودرجة الحرارة، فإن البركة الشمسية يمكن أن تقتصر حتى 10 إلى 20% من الطاقة الشمسية الساقطة على سطحها. لذلك، فإن كل متر مربع من مساحة سطح البركة يمكنه إمداد ما بين 1.5 إلى 2 جيجا جول من الطاقة الحرارية في العام عند درجة حرارة من 40°C إلى 80°C . المجمع الشمس باللوح المستوي بنفس المساحة يكون بضعف الكفاءة ولكن التكاليف تكون بعشرة أضعاف.

3- تكوين واستمرار تدرج الكثافة الملحية :

النجاح التقني للبركة الشمسية الجامعة للطاقة الشمسية يعتمد أساساً على ثبات واستقرار طبقة عدم الحمل الحراري، جزء الإشعاع الشمسي الساقط الواصل إلى قاع البركة، كمية الحرارة المفقودة من منطقة الحمل الحراري والاستخلاص المؤثر للحرارة للاستخدام المباشر أو في الدورة الحرارية الحركية (Thermodynamic cycle).

الملح المستخدم في البركة الشمسية لإنتاج تدرج في الكثافة يتطلب الخواص الآتية:

1- يجب أن يكون له قيمة عالية من الإذابة ليسمح بكثافات محلول عالية.

2- الإذابة يجب أن لا تتغير كثيراً مع درجة الحرارة.

3- المحلول يجب أن يكون شفافاً إلى حد ما للإشعاع الشمسي.

4- يجب أن يكون أمن بيئياً، غير مسبب لتلوث المياه الجوفية.

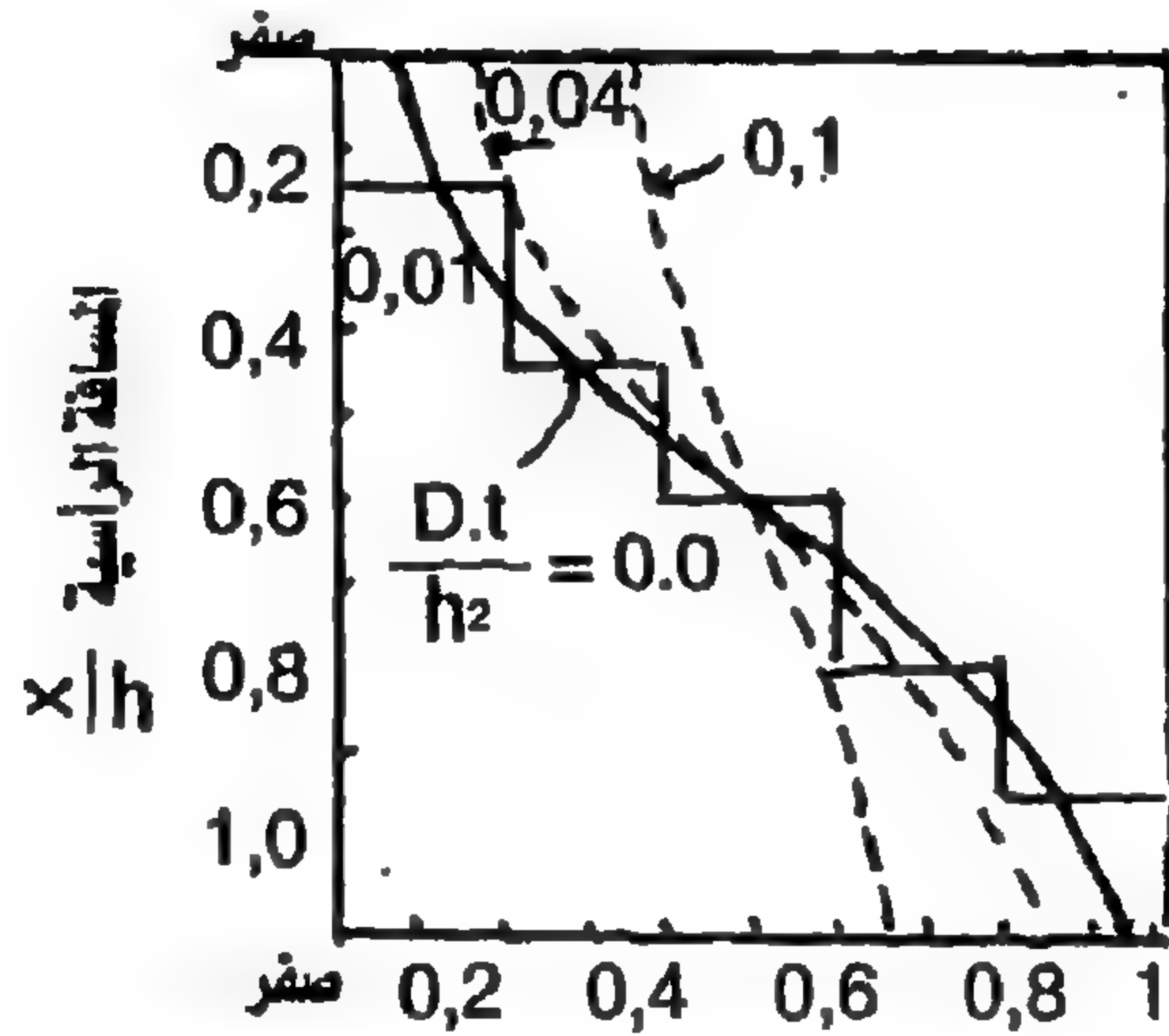
5- يجب أن يكون متاحاً بوفرة قريباً من الموقع لخفض التكلفة الكلية.

6- كما يجب أن يكون غير مكلف.

نظراً لأن الملح يشكل معظم التكلفة للبركة، لذلك فإن الجدوى الاقتصادية للبركة الشمسية سوف تعتمد كلية على الاختيار المناسب للملح. ثبات الطبقة غير ذات الحمل الحراري في وجود التدرج في درجة الحرارة يمكن استمراره بإيجاد تدرج حاد في تركيز الملح. بغرض إيجاد التركيز الأولي للملح بالتدرج المطلوب لمنع الحمل الحراري، فإن الأداء العادي هو بملئ البركة بطبقات متعددة من محلول الملح مع الطبقات المتتالية التي تتغير في درجات التركيز من القريب من التشبع عند القاع إلى الماء العذب عند السطح. بالنسبة للبركة النموذجية ذات عمق متر واحد، فإنه يمكن استخدام من 6 إلى 8 طبقات. الطبقات الأقل كثافة يمكن أن تطفو بالتتالي نحو قمة تلك الموجودة، أو أي الطبقات الأكثر كثافة يمكن أن توضح بالتتالي نحو القاع متدفقة تحت التيار وبالتدرج ترتفع كل البركة. بسبب الخلط المضطرب والتسرب الجزيئي، السذي يحدث أثناء الملئ، فإن الشكل العام لسلم التركيز الموضح في الشكل (7/11) يحدث تدرج في التركيز متجانس تقريباً. مختلف الأملاح مثل كلوريد المغنيسيوم ($MgCl_2$)، نترات الصوديوم (Na_2NO_2) ، كلوريد الصوديوم ($NaCl$) .. الخ. تم اقتراحها وكذلك، الأملاح المتاحة طبيعياً ذات مكونات كيميائية مخلوطة والتي تتغير من مكان إلى آخر.

كلوريد المغنيسيوم ونترات الصوديوم لهم أعلا كثافات تشبع مقارنة بكلوريد الصوديوم وبذا يمكنهم توفير ثبات أكثر في حالة سخونة البركة. القيم التقليدية لتركيز

الملح عند سطح القاع هي 20 كيلو جرام/ المتر المكعب تزداد إلى 300، 260 كيلو جرام/المتر المكعب لكل من كلوريد المغنسيوم وكلوريد الصوديوم على التوالي، عند القاع. كمية الملح المتسرب نحو الطبقة العليا تكون لحسن الحظ منخفضة بما يكفي لاستمرار ثبات واستقرار البركة لعدة أسابيع. ولكن، يكون من الضروري إضافة محلول ملح مركز من أن إلى آخر عند القاع وغسيل السطح بماء عذب لاستمرار التركيز المتدرج في وجود تأثيرات التسرب والانتشار. تأثير الرياح السطحية والأمواج يوجد منطقة حمل حراري علوية. العمق عند هذه المنطقة يجب المحافظة عليه عند الحد الأدنى (10 - 15 سم) لزيادة كفاءة الجمع. عمق طبقة الحمل الحراري السفلية يحدد كمية الطاقة الحرارية التي يمكن تخزينها وهو حوالي من نصف متر إلى واحد متر.



شكل (6/10) شكل من 6 طبقات سليمة (D) هم معامل التسرب الجزئي ،

(t) الوقت ، (h) هو العمق الكلي ، التركيز $C(x/h, t)$

في عدم وجود أي تدفق للملح عند قاع وقمة البركة، فإن الانتشار الجزيئي سوف يميل إلى محور التكوين الأولى لتدرج الكثافة. هذا الفقد بالتسرب يمكن استعادته واستمرار تدرج التركيز وذلك بإدخال محلول ملح مركز من أن إلى آخر عند القاع وغسيل السطح بالماء العذب. غسيل السطح بالماء العذب يمنع زيادة التركيز قريباً من القمة الذي يمكن أن يحدث، ليس فقط بسبب التسرب الجزيئي ولكن بالتبخر والخلط بسبب الرياح والأمواج.. الخ. أسلوب أكثر كفاءة الذي لا يتطلب الإضافة المستمرة للملح، هو مفهوم البركة المنخفضة (Falling Pond concept). يتم سحب السائل من الطبقة الساخنة ووضعه خلال مبخر وميضى (Flash Evaporator) حيث يتم استخلاص الحرارة. المحلول الآن له تركيز أعلا وحجم أصغر، عندئذ يتم إعادته إلى قاع البركة.

الاختلاف بين المعدلات التي عندها يتم استخلاص السائل وعودته بسبب هبوط ثابت للبركة، المعدلات التي يتم اختيارها بحيث يتم تعويض التسرب الجزيئي للملح إلى أعلا والماء العذب المضاف عند السطح الحر لاستمرار ثبات كلاً من عمق البركة وتركيز السطح. سرعة الهبوط مقدرة بحوالى 0.2 إلى 0.5 ملليمتر فى اليوم. طريقة أخرى للمحافظة على تدرج الكثافة والتي ثبت نجاحها عملياً. وهى تتكون من فصل الطبقات الست لمحلول كلوريد المغنسيوم ($MgCl_2$) التى تملأ البركة باستخدام طبقات شفافة من البلاستيك. الطبقات بها عديد من الثقوب الصغيرة لمنع نمو فقاعات الهواء بين الطبقات. قد يكون من المفيد تغطية سطح البركة بحشية بلاستيك منفوخة ورائقة مثل تلك المستخدمة لتدفئة حمامات السباحة بالطاقة الشمسية. فهى توفر طبقة عزل إضافية، تقلل من الفقد بالبخر، وتمنع دخول الأتربة والمطر من دخول البركة كما تمنع حدوث التيارات السطحية بفعل الرياح.

مشكلة محتملة أخرى وهى فقد الملح والحرارة بتسرب المحلول خلال قاع البركة المسامى. لمنع ذلك، فإن قاع البركة يمكن تغطيته بطبقة بطانة غير مسامية من البلاستيك أو المطاط. لتكوين درجات حرارة مرتفعة عند قاع البركة، فإنه يوجد احتمال تكوين فقاعات غاز نتيجة تآكل المادة العضوية. مشكلة الفقاعات هذه يمكن تجنبها بوضع طبقة رمل بسمك 15 سم أسفل البطانة، بحيث أن الغاز يمكن أن يتسرب إلى أعلا خلال ميول البركة إلى الجو.

جزء الأشماس الذى يصل إلى قاع البركة يتوقف على عمق البركة. البرك العميقة تقلل الفقد الحرارى إلى أعلا من منطقة الحمل الحرارى السفلية ولكنها تقلل كذلك كمية الأشماس التى تصل إلى قاع البركة. ولكن نظراً لأن ما حول أسفل البركة سيتم تسخينه، فإنه يلزم الحذر لضمان أن هذه السخونة سوف لا تسبب النمو الغير مطلوب للبكتريا والكائنات الصغيرة الأخرى التى قد تتلف القاع الأسود للبركة. بمجرد تسخين الأرض أسفل البركة واستقرارها حرارياً، فإنها سوف تعمل مثل العازل الحرارى وسوف تعيد جزء من الحرارة خلال شهور الشتاء. يمكن خفض الفقد الحرارى خلال الحوائط الجانبية وذلك بتصغير محيط البركة ما أمكن ذلك لمساحة البركة ولذلك فإنه يقترح البركة المستديرة. ولكن لأسباب عملية، فإن البركة لا يتم إنشائها عادة فى أشكال دائرية محددة.

استخلاص الطاقة الحرارية : Extraction of Thermal Energy:

الطاقة تكون مخزنة فى شكل حرارى متدنٍ النوعية للمنطقة السفلى للحمل الحرارى. الحمل الحرارى فى المنطقة يرجع إلى عملية استخلاص الحرارة، ويتم

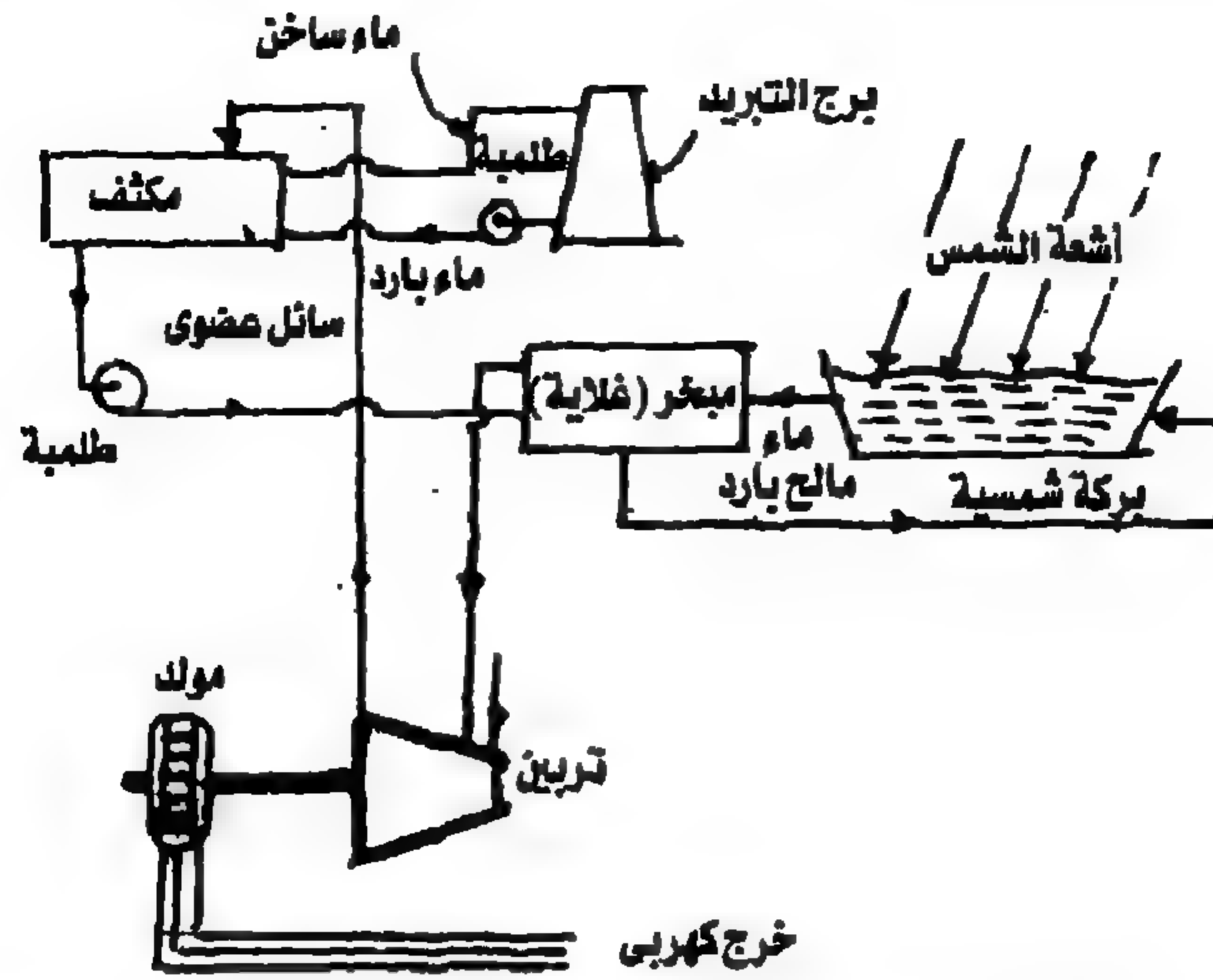
بسحب الماء الساخن عالي الملوحة (Hot Brine) وعودة الماء البارد عالي الملوحة. أنه ليس عملياً تغطية قاع البركة بأى مصفوفة من المواسير التى تعمل كمبادل حرارى لسببين (1) زيادة كبيرة فى التكلفة فى حالة البرك الضخمة بحجم حوالى كيلو متر مربع، (2) فى حالة عدم وجود حمل حرارى حول المواسير فإن الانتقال الحرارى من الماء الساخن عالي الملوحة المستقر نحو المائع فى المواسير سيكون ضعيفاً جداً.

استخلاص الطاقة الحرارية المخزنة فى الطبقات السفلى للبركة يمكن تنفيذه بسهولة بدون حدوث اضطراب لمنطقة التدرج الملحي قوتها غير ذات الحمل الحرارى. الماء الساخن يمكن استخلاصه من البركة الشمسية بدون اضطراب لتدرج التركيز. يتم ذلك بعمل مخرج المياه عند نفس الارتفاع لمدخل المياه. يمكن سحب الماء المالح الساخن وإعادة الماء المالح لبارد فى شكل تدفق رقائقي بسبب وجود تدرج فى الكثافة. بالنسبة للبرك الصغيرة (أو البرك التجريبية)، يمكن وضع المبادلات الحرارية المكونة من مواسير فى الطبقات السفلى الساخنة.

ولكن هذا يستلزم ليس فقط التكاليف الأولية للإنشاء ولكن الفقد المستمر للضغط المصاحب للانتقال الحرارى للمائع. الأسلوب السهل للاستفادة من الطبقات ذات الكثافة الثابتة هو باستخدام طريقة السحب الانتقائي، التقنية المطبقة عادة للتحكم فى نوعية المياه فى الخزانات الضخمة. يتم وضع غاطس فى طبقة سائل ثابتة الذى يسحب السائل من طبقة رقيقة أفقية، مثل حالة سحب ورقة من الكتشينة. هذا التدفق يختلف إلى حد ما عن ذلك الذى يمكن أن يحدث إذا كان السائل متجانساً. ظاهرة السحب الانتقائي توفر الطرق التى بها أولاً تدرج الكثافة الثابت المطلوب فى طبقات العزل العليا يمكن تصحيحه واستمراره ثانياً طبقة الماء الساخن يمكن إزالتها ومرورها خلال مبادل حرارى وعودتها عند درجة حرارة أقل نحو قاع البركة.

الطاقة الحرارية من البركة الشمسية تستخدم لتشغيل المحرك الحرارى بدوره رانكن (Rankine cycle). الماء الساخن عند مستوى قاع البركة يتم ضخه إلى المنجر حيث سائل التشغيل العضوى يتم تبخيره شكل (7/10). يتدفق البخار تحت الضغط العالى نحو التربين حيث يتمدد خلال عجلة التربين والمولد الكهربى المتصل بها. الأبخرة عندئذ تتحرك نحو المكثف حيث الماء البارد من برج التبريد يكثف البخار ثانياً إلى سائل. يتم ضخ السائل ثانياً إلى المبخر حيث يتم تكرار الدورة.

بركة شمسية بمساحة 2000 متر مربع مزودة بمحرك 20 كيلووات تم بناءها فى استراليا.



شكل (7/10) مخطط لمحطة طاقة كهربية بالبركة الشمسية

أنواع البرك الشمسية:

البرك الشمسية لها أنواع مختلفة مثل البرك الشمسية الضحلة، البرك الشمسية القسمه، البرك الشمسية ذات للزوجة الثابتة، والبرك الشمسية ذات الغشاء الطبقي والبركة الشمسية المشبعة.

1- البرك الشمسية الضحلة:

البركة الشمسية الضحلة هي كتلة من الماء ذات عمق ضحل والتي تعمل لتجميع وتخزين الإشعاع الشمسي. وهي ذات مساحات كبيرة، المجمع منخفض التكلفة حيث يتم التعريض المباشر للماء إلى الأشعة الشمسية ومحاط في مادة قاعدة عازلة للحرارة وطبقة أو طبقتين من مادة التزجيج (زجاج أو بلاستيك). بهدف خفض التكلفة، تستخدم البلمرات من البلاستيك حيثما أمكن ذلك بدلاً من المعدن والزجاج. يوجد العديد من التصميمات المتاحة. التصميم المفضل، حيث بطانة البركة السوداء من مادة قوية مثل مطاط البيوتاتيل (Butyl Rubber)، أو البولي إيثيلين المكثور يتم فردة فوق قاعدة العزل واتصاله مع أعلا الحاجز الخرساني. يتم عندئذ وضع طبقتين من البلاستيك الشفاف فوق البطانة السوداء واتصالها بحافة الحاجز الخرساني. الفراغ بين البطانة والطبقة السفلى يتم ملؤه بالماء والطبقة العليا يتم ملؤها بالهواء (In flated) باستخدام نافخ صغير.

في تصميم آخر والذي يوصى به للاستخدامات الضخمة يتم تصنيع كيس بلاستيك من طبقتين حيث القاع أسود والقمة رائقة. ويرتكز على وسادة عزل ويملأ بالماء. فوق قمة الكيس البلاستيك المقوس يوجد طبقات بلاستيك متعرجة في شكل شبه المصبغة

مؤمنة على طول أطراف الحاجز وكذلك فوق القمة بواسطة شرائط من الصلب منحنية إلى أسفل حيث تطابقات الطبقات. العديد من مثل برك الأحواض الضحلة هذه يمكن توصيله معاً ويمكن ضخ المياه الساخنة منهم وتخزينها في خزان حفظ ضخم لخفض الفقد الحرارى خلال الليل وحالات المناخ السيئ. يمكن الحصول على درجة حرارة في المجال من 50 - 75°م والتي يمكن استخدامها كمصدر للحرارة في العمليات الصناعية أو في توليد الطاقة الكهربائية باستخدام سائل (مائع) آخر مثل الفريون الذى يمكنه تشغيل التربين المتصل بالمولد الكهربى.

2- البرك الشمسية المقسمة : (Partioned solar ponds)

فى البركة الشمسية المقسمة يتم فصل منطقة الحمل الحرارى السفلية ومنطقة غير الحمل الحرارى بواسطة جزء شفاف وتظل عملية التشغيل نفسها كما فى حالة البركة الشمسية التقليدية ذات التدرج الملحي. فكرة البركة الشمسية المقسمة تمت بمعرفة (Nielson and rable)، بحيث أن منطقة الحمل الحرارى السفلية يمكن استخدامها للتخزين الموسمي للحرارة للتدفئة المنزلية. الجزء يساعد كذلك فى استمرار ثبات البركة ويمكن استخلاص الحرارة من منطقة الحمل الحرارى السفلية بدون اضطراب لمنطقة عدم الحمل الحرارى. عموماً، استخدام عشاء مرن يوصى به ولكن فى هذه الحالة فإن الحمل الكلى على القطوع (Partition) يجب أن يكون صغيراً لمنع حدوث التلف والتمزق. والذى يعنى أنه إما كثافة الطبقة السفلى يجب أن تكون بحيث أن منطقة الحمل الحرارى تحتل طبقة غير ذات الحمل الحرارى أى (Non Convective)، أو أن منطقة الحمل الحرارى يجب إعطائها ضغط حرارى لموازنة قوى الجاذبية على القطوع. فى الحالة الأخيرة يمكن استخدام الماء العذب فى منطقة الحمل الحرارى وبذا التخلص من مشاكل التآكل المصاحبة لاستخلاص الطاقة من المياه عالية الملوحة. فى البركة الشمسية المقسمة، الغشاء يسمح باستخدام ملح أقل كثيراً لأن محتوى الملح يتناسب مع مربع العمق. ولكن فى هذه الحالة فإن الغشاء يلزم تثبيته فى حوائط البركة بلجام محكم ضد التسرب. لقد لوحظ أن درجة الحرارة فى منطقة الحمل الحرارى تنخفض مع زيادة سمك طبقة الحمل الحرارى، ولكن متوسط درجة الحرارة لا يعتمد على السمك. كذلك يتم استنتاج من التجارب أن كفاءة البركة الشمسية المقسمة تكون أعلا من البركة الشمسية التقليدية غير ذات الحمل الحرارى. أفضل كفاءة بنسبة 37%، 26.9% يتم الحصول عليها عند درجة حرارة جمع 50°م، 100°م على التوالي.

3- البرك الشمسية ذات اللزوجة الثابتة: Viscosity stabilized solar ponds

فى البركة الشمسية ذات اللزوجة الثابتة يستخدم نوع من الهلام (Gel) فى الماء، بما يجعله غير موصل للحرارة بالحمل الحرارى (Non - Convective). فكرة البركة

الشمسية ذات اللزوجة الثابتة كانت بواسطة (Shafer) وتم وصف الظاهرة كراكة (Static) بخلاف المستقرة (Stable). من المعروف أن رقم ريليه (Rayleigh Number) المرتبط بقوى الطفو ومقاومة اللزوجة (Viscous Drag) يكون مسئولاً عن التدوير وقيمتة الحدية في مستهل الحمل الحراري الطبيعي لطبقة سائل مقيدة القمة والقاع، وساخنه من القاع هو 17.7. رقم ريليه يعطى الآتي:

$$Ra = \frac{8B\Delta Td^3}{\nu a}$$

حيث :

B = معامل تمدد الملح

ΔT = فرق درجة الحرارة بين طبقتين من السائل

D = المسافة بين طبقتين.

ν = اللزوجة الحركية للسائل

a = معامل تسرب وانتشار الملح

g = ثابت الجاذبية

من المعادلة السابقة يلاحظ أنه بزيادة اللزوجة فإن رقم ريليه يمكن خفضه دون الرقم الخدي وبذا إيقاف حدوث الحمل الحراري الطبيعي. لقد ظهر أنه حتى المادة البسيطة بالصمغ المذاب يمكنه إنتاج محلول (syrups) ذات لزوجة في المجال من 36.3 إلى 36.3×10^3 كجرام/المتر × الثانية المناسب للبركة في العمل بدون الحمل الحراري. المواد المناسبة للبرك ذات اللزوجة الثابتة يجب أن يكون لها قدرة انتقال عالية للإشعاع الشمسي، كفاءة التكتيف العالية تكون قادرة على الأداء عند درجات حرارة حتى 70°م. البلمرات الطبيعية مثل الصمغ العربي والنشا والجيلاتين تعتبر كذلك مواد مفيدة.

كلاً من البلمرات المخلقة مثل Poly acrylamide, Poly acrylic acid (salts) بوليمر Carboxy vinyl، بلمرات Ethylene oxide .. الخ والبلمرات شبه المخلقة (Semi - synthetic) مثل (Carboxy Methyl cellulose)، Methyl cellulose، Hydroxy ethyl cellulose .. الخ يمكن استخدامها كذلك لتثبيت واستقرار البركة. العديد من بلمرات الهلام (جيل) المتقاطعة، هلام المنظف / الزيت / الماء يمكن تحضيره كذلك والذي يمكن كذلك أن يكون مناسباً للاستخدام في البرك. لقد أوصى (Shaffer) باستخدام البوليمر التجاري (Carboxy vinyl) كمكثف والذي وجد أنه

مستقر حتى عن 70° م ومع المثبت المناسب أظهر خواص ضوئية كيماوية بارزة. فكرة البركة الشمسية ذات اللزوجة الثابتة يبدو أنها واعدة ولكن تتطلب دراسات في العمق وحالياً ليست منافسة اقتصادية مع البرك الشمسية ذات التدرج الملحي.

4- البرك الشمسية ذات الغشاء الفاصل بدون ملح :

Membrane stratified saltless solar ponds:

البديل الممكن للبركة الشمسية التقليدية بالتدرج الملحي هو البرك الشمسية ذات الغشاء الفاصل. هذه الفكرة يبد أنها أخذت من مجمعات السطح المستوى حيث يستخدم عش نحل العسل الشفاف لإحباط الحمل الحراري الطبيعي. في البركة الشمسية التقليدية بالتدرج الملحي توجد ثلاث مناطق وهم منطقة الحمل الحراري العلوي، منطقة عدم الحمل الحراري، ومنطقة الحمل الحراري السفلي (Lower convection zone)، بينما في البركة الشمسية ذات الغشاء الفاصل توجد منطقتين فقط، وهما المنطقة العلوية ذات عدم الحمل الحراري (عند القمة تعمل طبقة عزل) ومنطقة الحمل الحراري السفلية عند القاع (تعمل كطبقة تخزين حراري). الفرق الأساسي بين النوعين هي في آلية استمرار عدم الحمل الحراري في منطقة عدم الحمل الحراري. في البركة الشمسية ذات الغشاء الفاصل، تتم إعاقة الحمل الحراري باستخدام أغشية شفافة في منطقة عدم الحمل الحراري ذات فاصل بين كل منها صغير بما يكفي لإحباط الحمل الحراري. مميزات قليلة للبركة الشمسية ذات الفاصل الغشائي كالاتي:

- 1- نظراً لعدم استخدام ملح في هذه البركة، فإن هذه البركة يمكن أن تكون سهلة الصيانة بتكلفة قليلة.
- 2- لا توجد مخاطر هيدروولوجية أو بيئية بالنسبة لبركة الغشاء ذات الفاصل بدون ملح.
- 3- لا توجد منطقة حمل حراري علوية في هذا النوع ولذا تقوم بنفس الكفاءة الزائدة عند المقارنة للبركة الشمسية ذات التدرج الملحي.
- 4- يمكن استمرار عمق أكبر لمنطقة الحمل الحراري السفلي في بركة الفاصل الغشائي بما ينتج عنه تخزين موسمي، وقلة التغير اليومي في درجة الحرارة وزيادة كفاءة التجميع.

يقترح ثلاث أنواع من الأغشية وهي:

(1) الأغشية الأفقية.

(2) الأنابيب الرأسية.

(3) الأغشية الرأسية

استخدام غشاء كثيف أفقى عند قمة البركة للحماية من الغبار والأتربة ولمنع التعفن التلف البصرى للأغشية. فإنه يقترح أن يكون التيفلون (Teflon) مادة الغشاء المناسبة بسبب عمرها الطويل فى الاستخدام، وكذلك شفافيته العالية ولكونها خاملة لكل الكيماويات تقريباً، ولكونها كذلك متاحة تجارياً فى كل الأحجام والسماك.. الخ. بخلاف الماء كسائل فى بركة الغشاء الشمسية، فإن سوائل أخرى مثل محلول السكر المركز، الإيثانول، ومجموع الماء والإيثانول تلك المواد مقترحة كسوائل.

5- البرك الشمسية المشبعة: (Saturated solar ponds)

البرك الشمسية المشبعة هى كتل الماء غير ذات الحمل الحرارى، والتي تعتمد على التدرج فى الكثافة الناتج عن الإذابة التفاضلية للملح مع درجة الحرارة. فى البركة الشمسية المشبعة التدرج الطبقي فى درجة الحرارة ما بين القمة والقاع يكون استمرار التدرج فى الكثافة من خلال إندفاع ونزوح الأيونات (Inon migration). فى مثل هذه البركة يستخدم الملح الذى تزداد إذابته سريعاً مع درجة الحرارة. ماء البركة يظل مشبعاً بمثل هذا الملح عند كل المستويات ونظراً لأن البركة تكون أسخن فى القاع عن القمة، فإنه تتم إذابة ملح أكثر عند القاع. فى مثل هذه البركة، يتم الانتشار الرأسى للملح وتدرج الكثافة يكون مستقراً بما يجعل صيانة البكرة غير مقيد. عموماً الأملاح الموصى بها فى البركة الشمسية المشبعة هى (Na_2SO_4) ، $(MgCl_2)$ والبوراكس Na_2SO_4 أظهر زيادة فى الكثافة مع درجة الحرارة حتى التحول عند 30.3° م عند هذه النقطة تبدأ كثافة المحلول فى الانخفاض مع زيادة درجة الحرارة والذى أظهر أن (Na_2SO_4) ليس مقبولاً كملح تشغيل. كلا من $(MgCl_2)$ والبوراكس هما أملاح التى تكون بركة شمسية ذات تشبع مستقر.

استخدام البرك الشمسية:

بسبب التخزين الكبير للحرارة والتغيرات اليومية المهمة فى درجة حرارة البركة، البركة الشمسية لها العديد من الاستخدامات مثل التدفئة والتبريد للمباني، حمام السباحة، تدفئة البيوت الزجاجية (الصوبة)، تسخين العمليات الصناعية، وإنتاج وقود سائل متجدد مثل الإيثانول. بعض الاستخدامات كالتالى:

أ- تدفئة وتبريد المباني :

بسبب طاقة التخزين الكبيرة للحرارة فى منطقة الحمل الحرارى السفلية للبركة الشمسية. فإن لها استخدام مثالى للتدفئة حتى عند أى محطات بعيدة عن خط الاستواء ولعدة أيام ذات سحب شديد وغيوم. كثيراً من العلماء حاولوا وقدروا البركة الشمسية لحمل تدفئة معين مطلوب للتدفئة المنزلية. أظهرت الحسابات أن البركة الشمسية ذات

قطر 100 متر وعمق واحد متر فإن منطقة الحمل الحراري السفلية تكون كافية لتشغيل إما نظام امتصاص أو مبرد قادر على توفير 100% من حمل التبريد لمجتمع من 50 منزل. حتى في المبنى ذو الدور الواحد فإنه يمكن تسخينه اقتصادياً بالبركة الشمسية حيث في هذه الحالة تكون البركة الشمسية مساوية إلى مساحة أرضية المنزل.

ب- إنتاج الطاقة :

يمكن استخدام البركة الشمسية لتوليد الكهرباء بتشغيل تجهيزه كهربية حرارية أو محرك دورة رانكن - التربين الذي يعمل بتبخير سائل عضوي ذو نقطة غليان منخفضة. مفهوم البركة الشمسية لإنتاج الطاقة يوفر أمل كبير لتلك المساحات حيث توجد قوة إشماس عالية وأرض كافية أو ظروف التربة تسمح بإنشاء وتشغيل مساحة كبيرة من البركة الشمسية اللازمة لتوليد كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية. حتى أن سخونة ذات درجة الحرارة المنخفضة التي يتم الحصول عليها من البركة الشمسية يمكن تحويلها إلى طاقة كهربية. كفاءة التحويل تكون محدودة بسبب انخفاض درجة حرارة التشغيل ($70 - 100^{\circ}\text{C}$). بسبب انخفاض درجة الحرارة فإن محطة الطاقة بالبركة الشمسية تتطلب سوائل تشغيل عضوية (مثل الفريونات) أو الهيدروكربونات (مثل البروبين) نموذج لمحطة طاقة البركة الشمسية موضح في الشكل (7/10).

ج- إزالة الملوحة : (Desalination)

الطاقة الحرارية منخفضة التكاليف يمكن استخدامها في إزالة الملوحة أو تنقية المياه للشرب وللري.

وحدات إزالة الملوحة متعددة الوميض (Multi flash Desalination Units) مع البركة الشمسية هو مقترح جذاب لإنتاج مياه مقطرة لأن محطة إزالة الملوحة متعددة الوميض تعمل عند درجة حرارة أقل من 100°C والتي يمكن الحصول عليها بسهولة بواسطة البركة الشمسية. هذا النظام يكون مناسباً في الأماكن حيث عدم وفرة الإمداد بمياه الشرب مع وفرة المياه الخمضاء (Brackish). لقد قدر أن حوالي 4700 متر مكعب في اليوم من المياه المقطرة يمكن الحصول عليه من بركة ذات مساحة 0.31 كيلو متر مربع باستخدام وحدة تقطير متعددة التأثير (Multi effect).



الفصل الحادى عشر

التسخين الشمسى للماء

Solar water Heating

مقدمة :

التسخين الشمسي للماء هو الاستخدام المباشر للطاقة الشمسية الذي تم استخدامه كثيراً في العقود الماضية. وهو الأكثر قابلية للتطبيق من بين كل استخدامات الطاقة الشمسية عند درجة الحرارة المنخفضة، ومن المحتمل أن يصبح الاستخدام الأول لطاقة الشمسية في المستقبل القريب نظراً لأن الاستثمارات الأولية صغيرة وأن النظام يتم استخدامه خلال العام (في الدول النامية). معامل الاستخدام العالي ينتج معامل حمل أكبر مقارنة بنظام التسخين الشمسي. مكونات التسخين الشمسي للماء متاحة تجارياً. استخدام الطاقة الشمسية لتسخين الماء في كثير من الاعتبارات تشبه إلى حد ما استخدامها للتدفئة المنزلية. ولكن، توجد اعتبارات التي تحيل التسخين الشمسي للماء أفضل في مجال الاستثمار مقارنة بالتدفئة المنزلية وهما الاعتبارات المالية والجهد. من ناحية فإن الطلب على الماء الساخن مستمر تقريباً خلال العام، لذلك فإن المجمع والأجزاء الأخرى من السخان الشمسي سوف تعمل لمدة طويلة لإنتاج الوفرة في الوقود الذي سيتم إنفاقه في التكلفة الأولية العالية لنظام الطاقة الشمسية. على الجانب الآخر فإن نظام التدفئة المنزلية بالطاقة الشمسية يعمل بكامل طاقته خلال الأشهر الباردة من فصل الشتاء.

كذلك يمكن أن يكون حجم سخان الماء الشمسي ليتطابق مع الطلب بدقة كبيرة. رغم أن نظم التسخين تتعامل مع الأحمال العالية لمدة أيام قليلة فقط من العام، فإنه يجب أن تكون كبيرة لتلبية تلك الاحتياجات. نظام التسخين الشمسي للماء على الجانب الآخر سيكون له تقريباً نفس الحمل اليومي في أي يوم خارج، باستثناء الاستخدامات الغير عادية، حمل التصميم (أقصى حمل متوقع) يكون قريباً من الحمل اليومي العادي.

المشكلة المرتبطة بكل أنواع التسخين الشمسي هي الطبيعة المتغيرة لإشراق الشمس (Sun shine) سخان الماء الشمسي، رغم هذا، له ميزة إضافية مقارنة لنظم التدفئة المنزلية الشمسية ذلك لأن متطلبات الماء الساخن تكون أقل قوة عن تلك للتدفئة. لمتطلبات الماء الساخن المستمر نسبياً، الحل العادي هو توفير سخان تكميلي.

سخانات الماء الشمسية تعتبر عادية جداً في أستراليا، إسرائيل، اليابان، وفي فلوريدا وفي جنوب كاليفورنيا.

أنواع سخانات الماء الشمسية :

العناصر الأساسية لسخانات الماء الشمسية هي:

1- الجامع الشمسي بالسطح المستوي (Flat plate collector)

2- خزان حفظ.

3- نظام تدوير ونظام تسخين إضافي.

4- إحكام للنظام.

قبل وصف نظام تسخين الماء لمتطلبات كبيرة من الماء الساخن، سيتم تناول سخانات الماء البسيطة (المنزلية) والتي هي:

1- بالخرطوم الأسود من المطاط و سخانات الماء الشمسية.

2- الحوض الضحل للماء.

3- سخان الماء الشمسي الياباني بالكيس البلاستيك.

4- سخان الماء الشمسي من نوع الحوض.

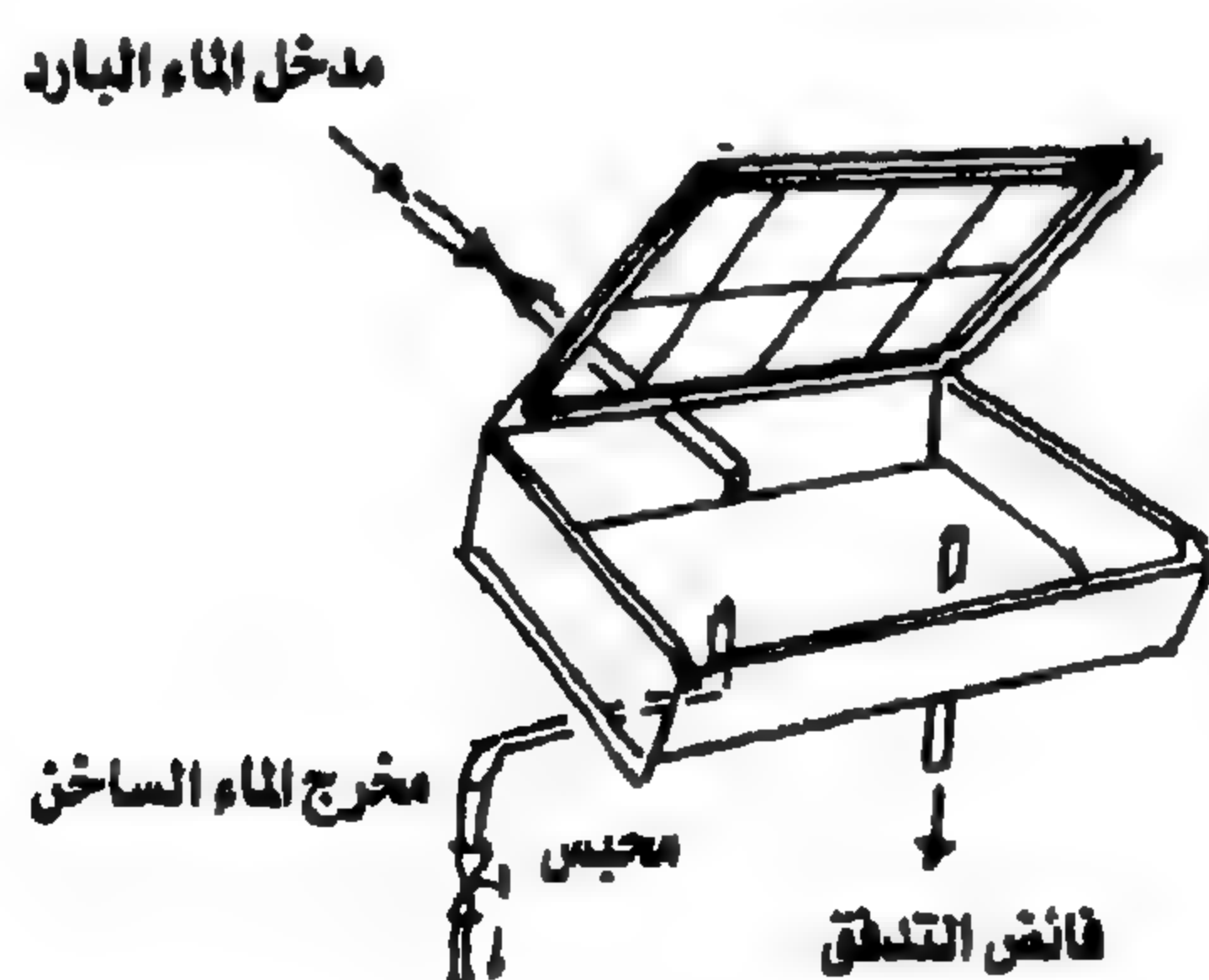
5- سخان الماء الشمسي بالأنبوب الياباني.

1- الخرطوم الأسود المطاط كسخان شمسي:

واحد من أبسط سخانات الماء الشمسية هو خرطوم المطاط الأسود يبقى في الشمس باستمرار. بضبط معدل التدفق خلال الخرطوم، فإنه يمكن الحصول على تدفق منتظم من الماء الساخن. الماء الساخن يمكن تخزينه في خزان حفظ معزول أو غير معزول، باستخدام سخان إضافي أو بدون.

2- الحوض الضحل للماء:

الحوض الضحل للماء يتكون من حوض ضحل وله غطاء شفاف يبقى في الشمس شكل (1/11).



شكل (1/11) حوض ماء ضحل

3- سخان الماء الشمسي الياباني بالكيس البلاستيك شكل (2/11).



الشكل (2/11) كيس ماء بلاستيك

التسخين الشمسي للماء

وهذا يتم وضعها على رصيف مستوى. البعض له عاكسات أسفله لانعكاس الطاقة الإضافية حتى جانب القاع.

4- نوع الحوض:

توجد أنواع مختلفة للنوع (3) عبارة عن صندوق خشبي بسيط مجهز بمسطح من البلاستيك متصل بالداخل لحجز الماء (انظر الشكل 3/11).



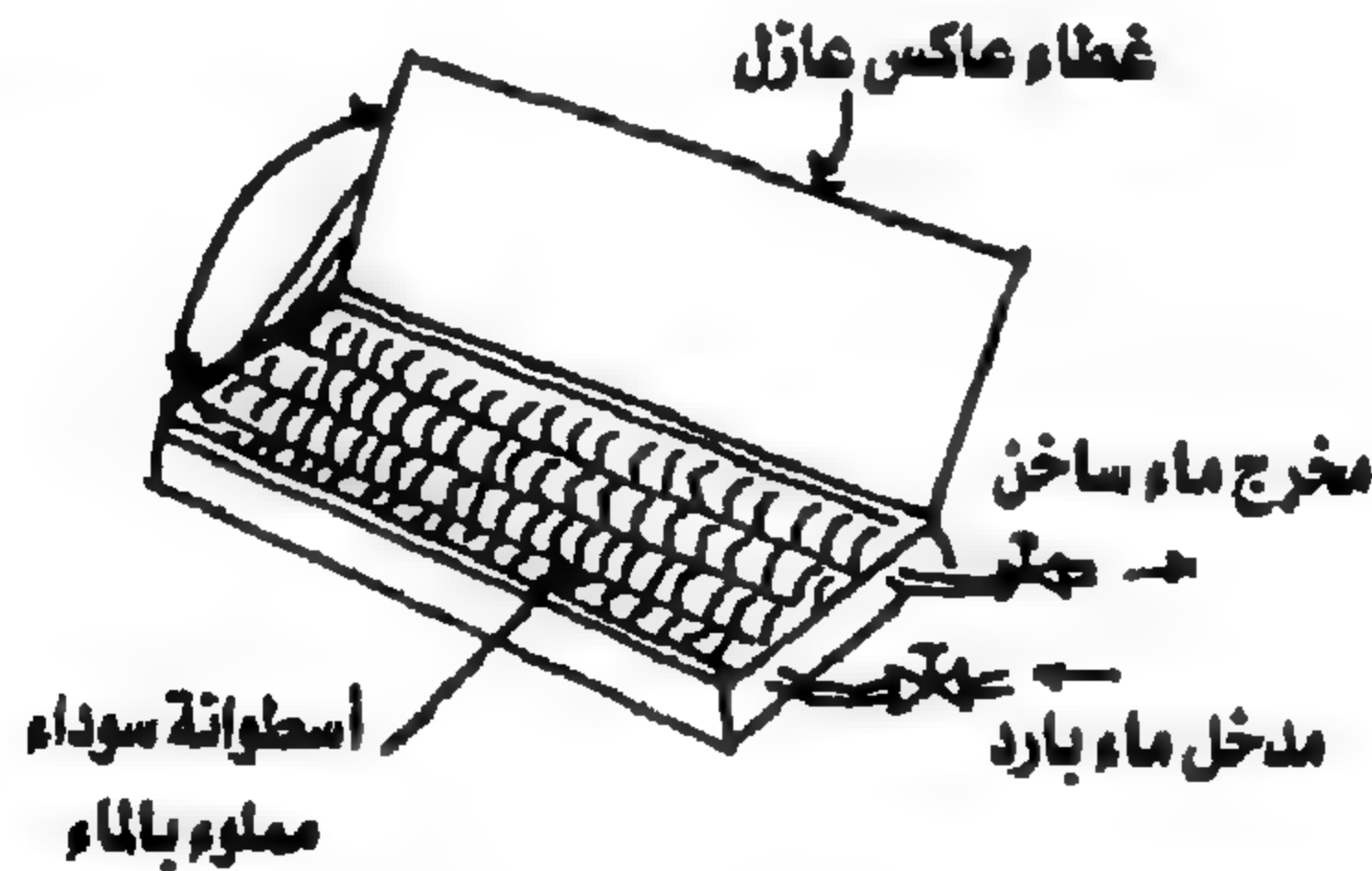
شكل (3/11) صندوق خشبي مغلف بالبلاستيك

السخان لا يتطلب غطاء شفاف، ولكنه يكون أكثر كفاءة إذا كان له مثل هذا. في تلك السخانات، فإن المجمع الشمسي والخزان الشمسي هما واحد.

العيب الرئيسي لسخان الحوض المستوى (Flat - Basin) هو أنه يجب أن يكونوا أفقياً. في المناطق الاستوائية حيث الشمس عند ذروتها فوق الرأس كل العام، هذه السلبية صغيرة، ولكن في حالة البعد عن خط الاستواء حيث الشمس تكون أقل إشعاعاً في السماء، فإن المجمع الأفقي يصبح أقل كفاءة، جزئياً بسبب الكثير من الطاقة الذي يتم انعكاسه من المجمع. في الشتاء عندما تكون شدة الشمس ضعيفة، فإن الكفاءة يزداد انخفاضها. ميزة نوع الحوض المستوى هو أن عمق الماء يتغير بسهولة.

5- سخانات المياه الشمسية بالأنبوب الياباني الشكل (4/11)

Japanese Pipe solar water Heater:

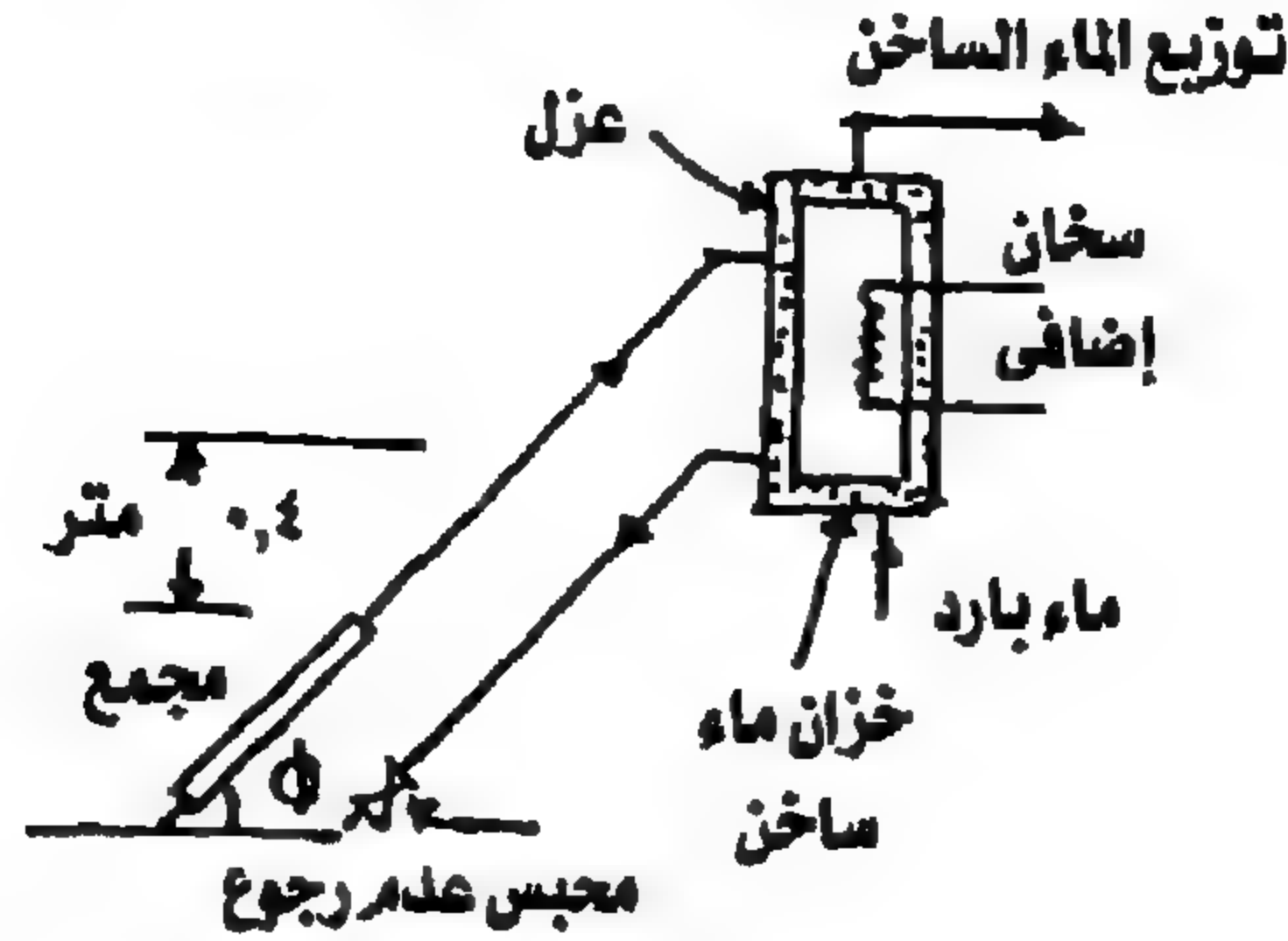


الشكل (4/11) سخان الماء الشمسي الياباني الأنبوبي

النموذج الياباني هو باستخدام سخانات المياه والتي هي مواسير من الزجاج، الصلب المقاوم أو البلاستيك المطلي بالأسود.

بعض التصميمات التجارية النموذجية لسخانات الماء الشمسية هو:

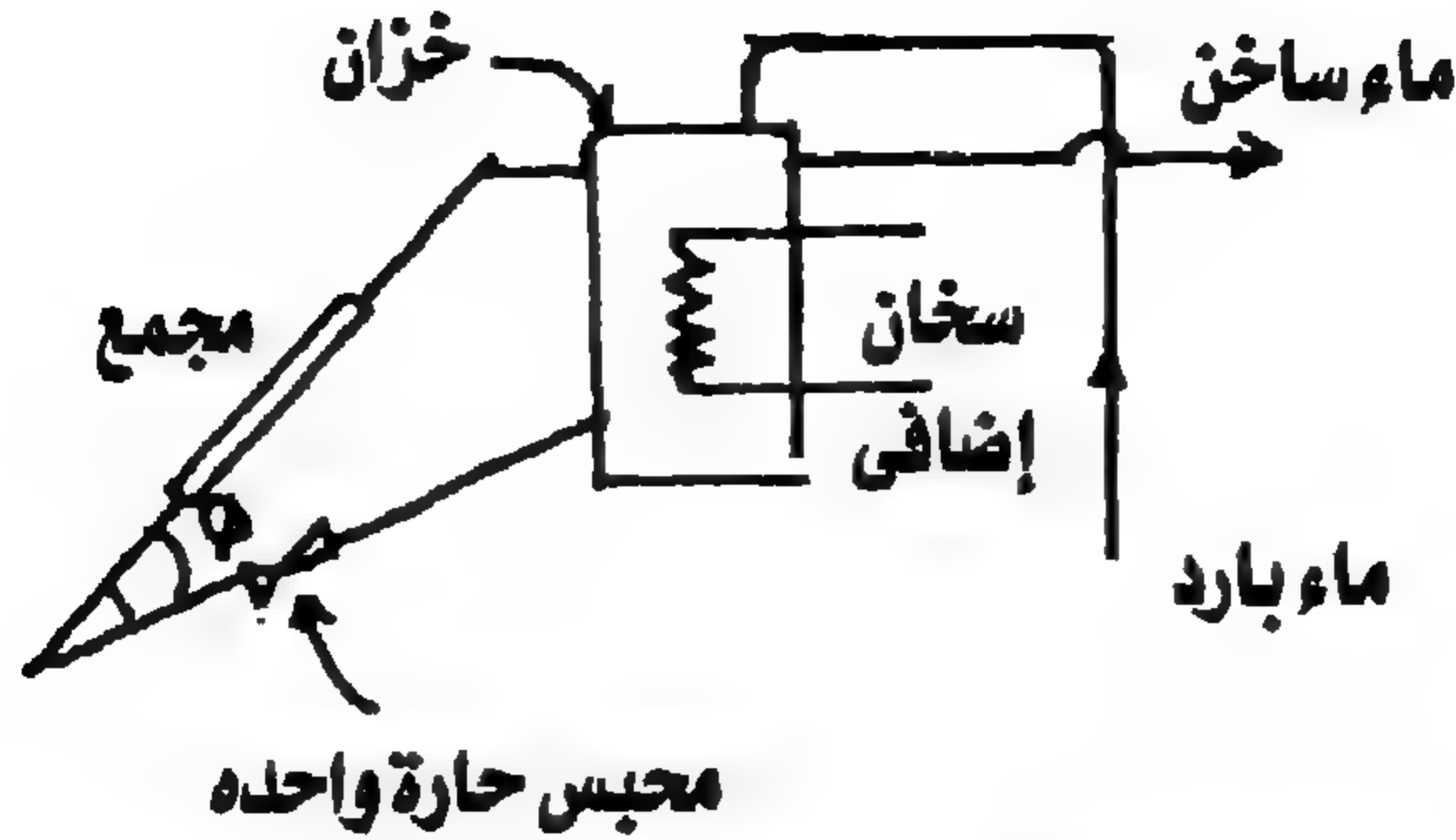
1- نظام التدوير الطبيعي لسخان الماء الشمسي (المضغوط)



شكل (5/11) مخطط للتدوير الطبيعي لسخان الماء الشمسي
مع إضافة طاقة مكملة لخزان الضغط

هذا النظام مكون من المجمع المائل (Tilted collector)، المزود بألواح تغطية شفافة، حوض تخزين ماء عالي العزل منفصل، ومواسير جيدة العزل لتوصيل الاثنين. قاع حوض التخزين يكون على الأقل أعلا من قمة المجمع بوحدة قدم (0.4متر)، ولا تكون هناك حاجة لطاقة إضافية لتدوير الماء خلاله. التدوير يحدث خلال الحمل الحراري الطبيعي (Natural Convection)، أو السيفون الحراري (Thermo syphonig). عند تسخين الماء الذي في المجمع الشمسي بواسطة الشمس، فإنه يتمدد (ويصبح أقل كثافة) ويرتفع إلى أعلا المجمع، خلال الماسورة ونحو قمة حوض التخزين. هذا يدفع الماء البارد عند قاع الحوض إلى أنبوب آخر المؤدى إلى قاع المجمع الشمسي. هذا الماء، بالتالي يتم تسخينه ويرتفع إلى أعلا في الحوض. مع استمرار سطوع الشمس فإن الماء يتم تدويره سريعاً، حيث يسخن. بعد غروب الشمس، يمكن لنظام السيفون الحراري أن يعكس اتجاه التدفق، حيث قمة سخان الماص تكون لا يقل عن واحد قدم (0.4متر) أسفل الطرف البارد الموصل بحوض التخزين، كما هو موضح. لتوفير الحراري خلال فترة الغيوم الطويلة، يمكن استخدام سخان غمر كهربى لمساندة النظام الشمسي. يتم استخدام سائل غير قابل للتجمد في دائرة المجمع الشمسي. نظام السيفون الحراري هو واحد من أقل نظم تسخين الماء تكلفة ويتم استخدامه كلما أمكن ذلك.

2- سخان الماء الشمسي بالتدوير الطبيعي (بدون ضغط) (الشكل 6/11)

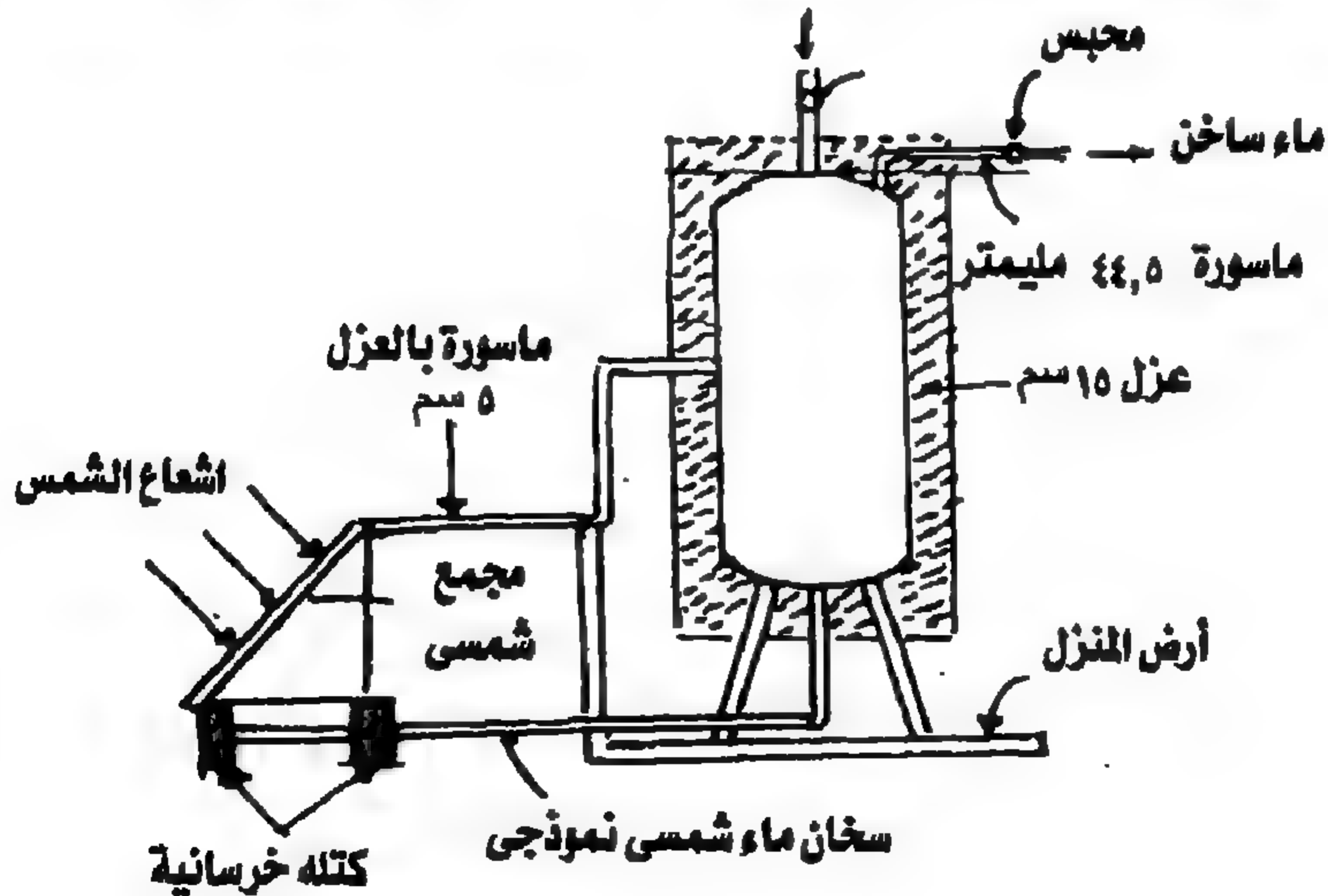


شكل (6/11a) سخان ماء شمسي بدون ضغط

النظام بالضغط يمكنه إمداد الماء الساخن في الأماكن فوق حوض التخزين. هذا ينتج عنه إجهادات كبيرة على قنوات الماء في المجمع الشمسي والذي يجب تصميمه طبقاً لذلك. النظم الغير مضغوطة لإمداد الماء الساخن بالتدفق بالجاذبية فقط للمستخدمين عند مستوى منخفض عن الحوض. إذا كان المطلوب ماء ساخن مضغوط (لاستخدام الدش، الأدوات) فإن الفرق في الارتفاع يجب أن يكون كبيراً لتحقيق تلك المتطلبات. إذا كان فرق الارتفاع لا يمكن تحقيقه، فإن الحل الوحيد هو بإقامة مضخة منفصلة وخزان ضغط (Pressure tank).

الإجهادات خلال نظام عدم الانضغاط تكون أقل والذي يسمح بإنشاء أسهل وأقل تكلفة.

نموذج للسخان الشمسي للماء بالتفصيلات موضح في الشكل (6/11b)

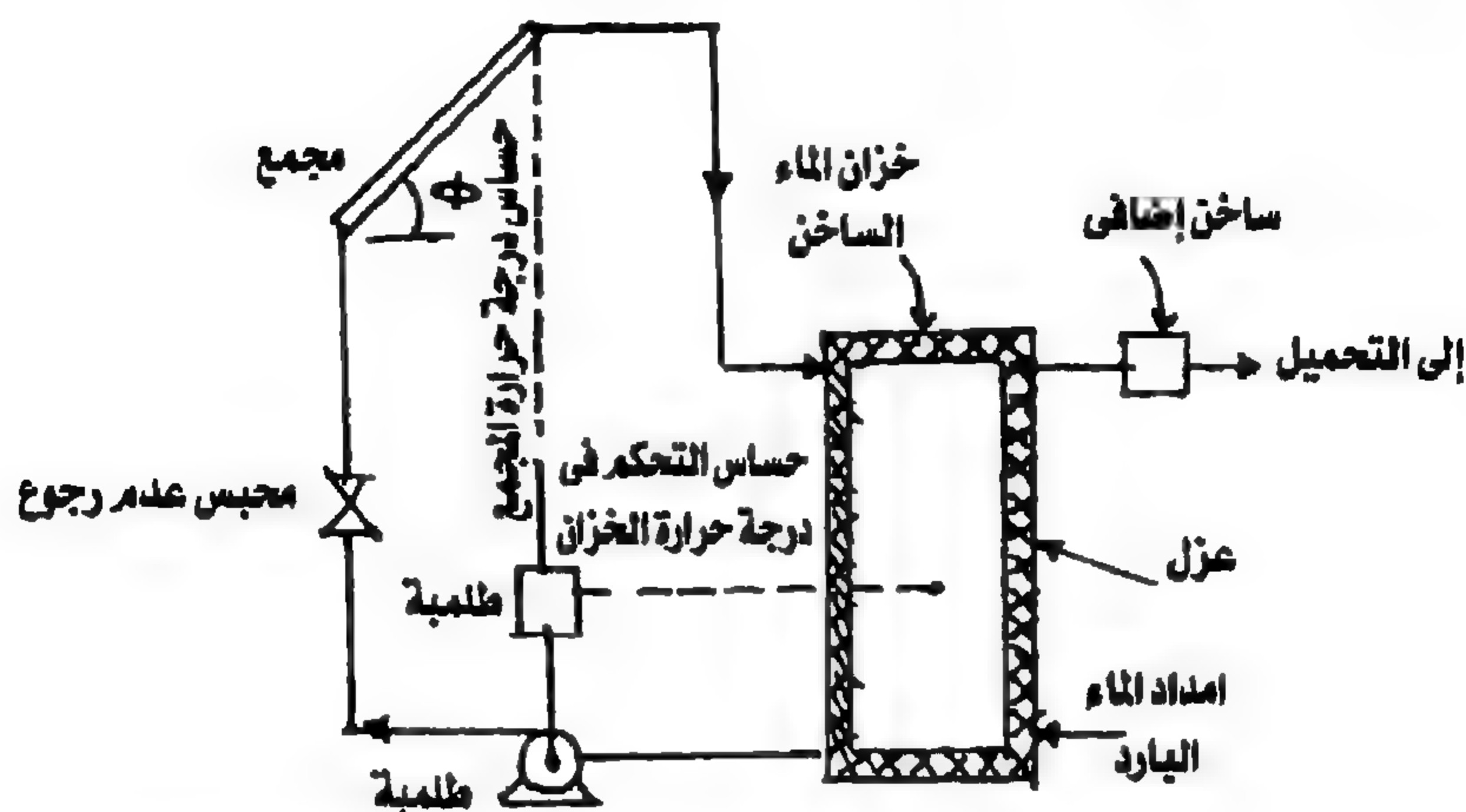


شكل (6/11b) سخان ماء شمسي نموذجي

3- سخان الماء الشمسي بالتدوير عنوة:

Forced circulation of solar water Heater

الشكل (7/11) يبين مخطط لمثال نظام التدوير عنوة.



شكل (7/11) مخطط السخان الماء الشمسي بالتدوير عنوة

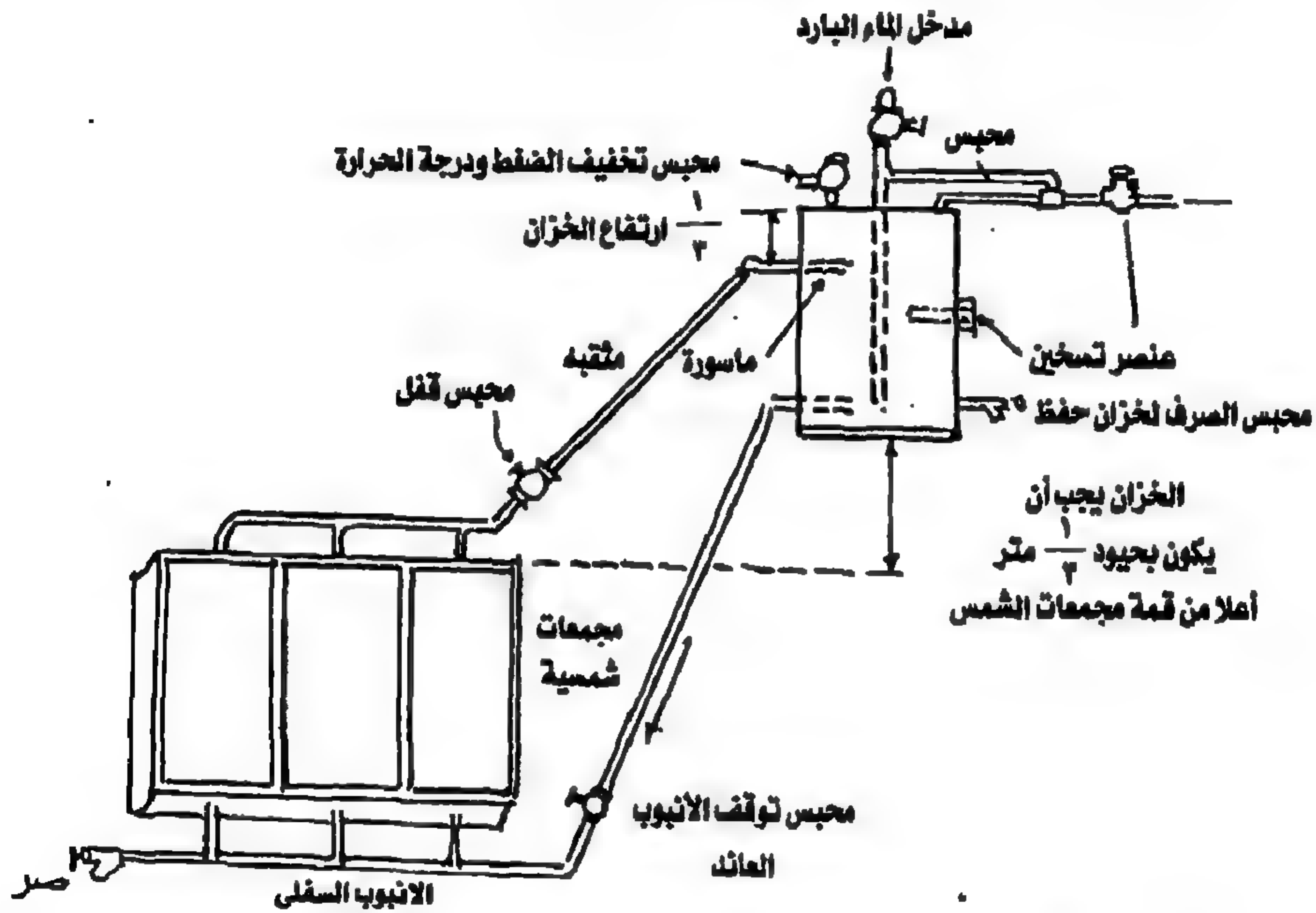
مع إضافة مصدر على الخط نحو التحميل

هنا ليست هناك متطلبات لمكان الخزان فوق المجمع الشمسي. المكونات الإضافية سوف تتضمن طلمبة، محرك، نظام تحكم في الطلمبة (المثبت) الآلى لفرق درجة الحرارة بين الخزان والمجمع الشمسي (Differential Thermostat) محسس عدم رجوع يلزم توفيره لمنع حدوث الدوران العكسى والفقد الحرارى ناتج فترة الليل من المجمع. فى هذا المثال، السخان الإضافى موضح حيث يوفر للماء الذى يترك الخزان ويتوجه نحو الحمل.

وصف سخانات الماء الشمسية وتفاصيل إقامتها:

فى سخان الماء الشمسي بالسيفون الحرارى (Thermo syphon solar water heater) يحدث التدوير الطبيعى خلال التغيرات فى الكثافة للماء بسبب الحرارة الممتصة من الإشعاع الشمسي. الماء الذى تسخينه بحرارة الشمس يرتفع إلى حوض التخزين المعزول، والماء الآخر الأبرد من الخزان يتدفق بالحمل الحرارى الطبيعى (Natural Convection) إلى الجزء السفلى من المجمع الشمسي (أنظر إلى الشكل 5/11). لهذا النوع من التسخين الشمسي، يعتبر ارتفاع حوض التخزين فوق قمة المجمع الشمسي من معايير التصميم الهامة. فى حالة النظام الصغير، يكون الخزان حوالى 0.6 متر فوق المخرج من المجمع الشمسي (المجال هو حوالى 0.4 متر إلى 0.6 متر). هذا النوع من السخانات الشمسية أصبح محبباً جداً فى الشرق الأوسط،

أفريقيا، آسيا، أستراليا، ومساحات أخرى من العالم حيث درجة الحرارة لا تنخفض كثيراً إلى أقل من درجة حرارة التجمد في الشتاء. عموماً لا تستخدم سخانات الماء الشمسية بنظام السيفون الحراري (Thermosyphon) في الأجواء حيث درجات حرارة الشتاء تكون أقل من نقطة التجمد. حيث تكرر التجمد والإذابة (الإسالة) للماء في أنابيب المجمع الشمسي يمكن أن تنتج الحرارة لأجواء التجمد بتوفير تسخين بالمقاومة الكهربائية في المجمع خلال المناخ البارد أو استخدام ماصات التي يمكنها التكيف مع التجمد في الأنابيب. الشكل (8/11) يوضح المكونات لكل سخان الشمسي المباشر للماء بالسيفون الحراري باستخدام ثلاث نماذج من المجمعات الشمسية، حيث المحابس والوصلات الموضحة كما يمكن أن تظهر في النظام.



شكل (8/11) تفاصيل إنشاء سخان الماء الشمسي بالسيفون الحراري

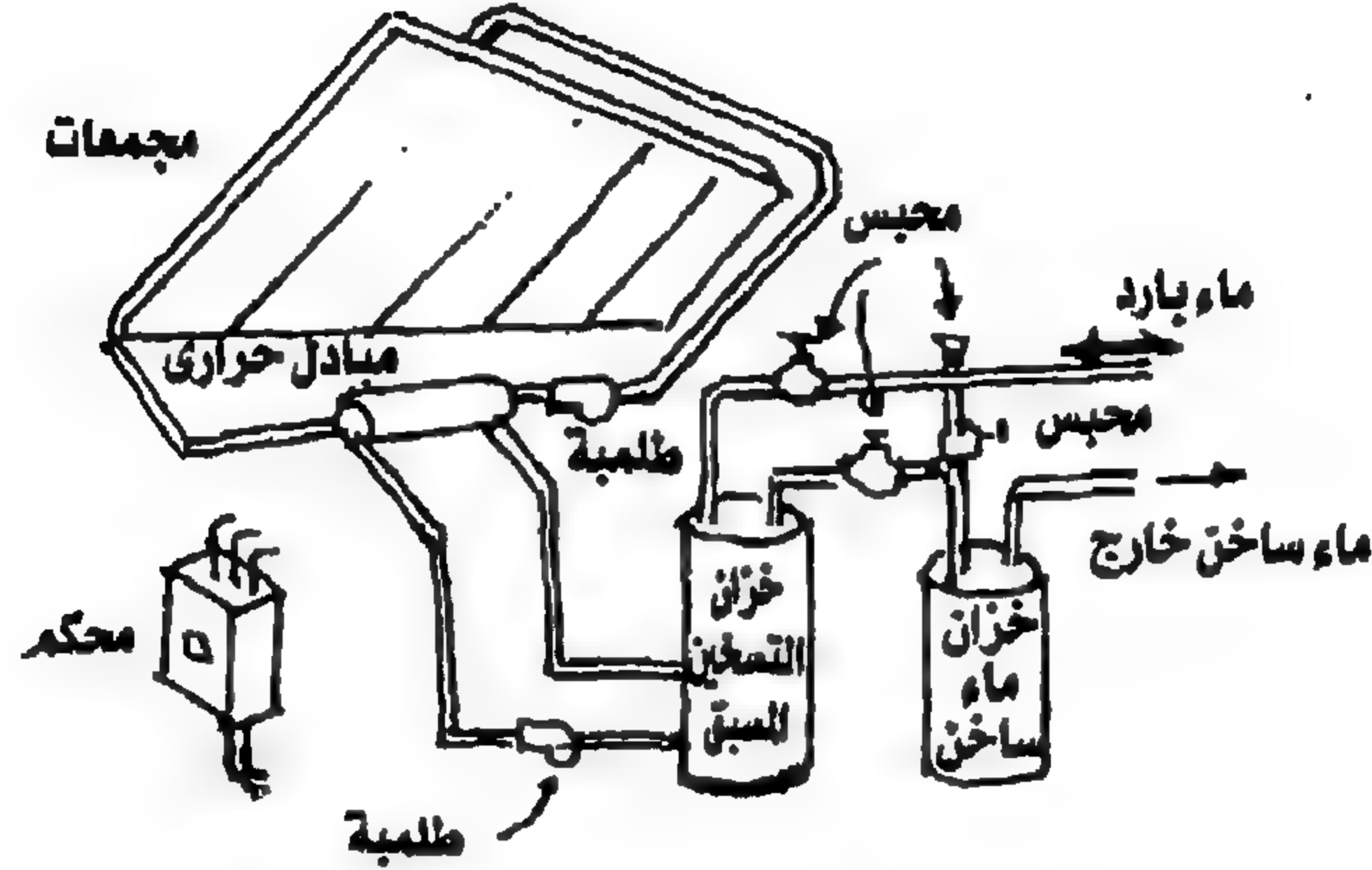
(The Insulation Is left off the hot water piping and storage tank for clarity).

المحابس اليدوية على مجمعات المواسير (Headers) العلوية والسفلية تسمح للمجمعات الشمسية ليتم الصرف منها بدون الاضطراب إلى تفريغ الخزان. محبس الصرف يكون ضرورياً لصرف المجمعات. محبس القفل للماء البارد على قمة حوض التخزين ومحبس الصرف عند القاع يكون مطلوباً لصرف الخزان (الحوض). محبس الخلط يكون مطلوباً للأمان لمنع استقبال مياه الترسبات (Scaling water)، وعموماً

التسخين الشمسي للماء

للتأكد أن درجة حرارة الاستقبال لا تزيد عن بعض المحبس المضبوط مسبقاً (Preset valve) درجة الحرارة ومحبس تصريف الضغط من المتطلبات القياسية للكوحدات القياسية، وتعمل للحماية ضد ضغوط البخار الزائدة للنظام. يمكن إزالة الهواء من النظام بالفتح اليدوي لهذا المحبس. مجمع المواسير من النحاس يكون مائلاً إلى أعلا كما هو موضح لمنع حبس الهواء.

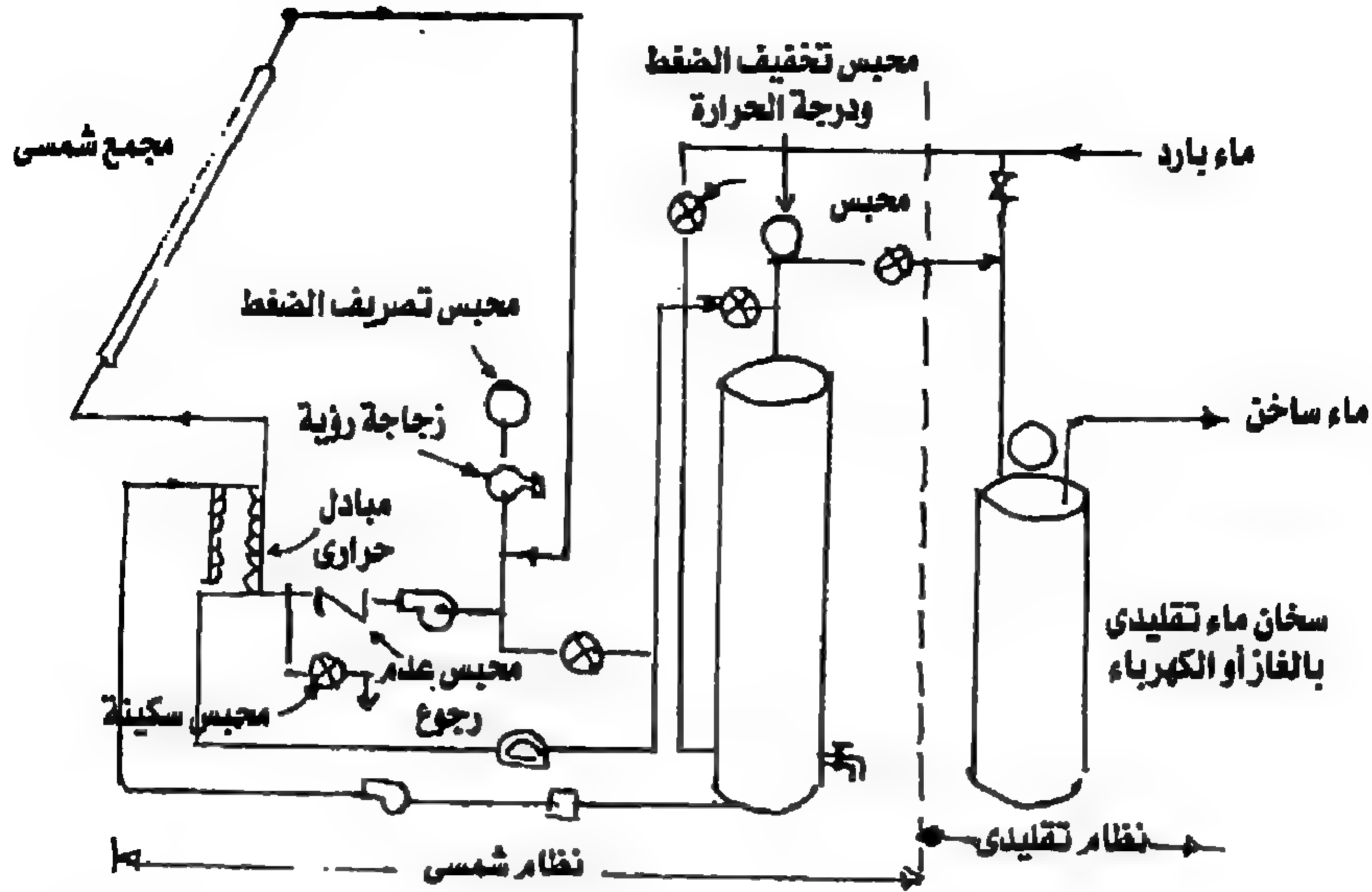
الشكل (9/11) هو النوع العادي لنظام تسخين الماء الشمسي.



شكل (9/11) نموذج لسخان الماء الشمسي

في هذا النوع تستخدم طلمبة لتدوير المائع الغير متجمد خلال المجمعات الشمسية والمبادل الحراري. الماء في خزان التسخين المسبق يتم تدويره خلال المبادل الحراري وبالعكس نحو الخزان (الحوض). الماء الذي تم تسخينه بدرجة حرارة الشمس من الخزان السابق تسخينه يتدفق عندئذ نحو خزان الماء الساخن التقليدي، حيث يتم تسخينه بالكهرباء أو بالوقود الحفري إلى درجة الحرارة المطلوبة. إذا كانت درجة حرارة الماء من خزان التسخين المسبق (Preheat tank) تزيد عن درجة الحرارة المحددة لجهاز ضبط الحرارة (Thermostat) لخزان الماء الساخن التقليدي، فإن مصدر الطاقة الإضافية لا يتم استخدامه ويتم تسخين الماء باستخدام الطاقة الشمسية فقط. هذا النوع من النظم أكثر حداثة وأكثر تكلفة مقارنة بنظام السيفون الحراري (Thermosyphon) الذي يحوي مائعاً ينقل الحرارة بالحمل الحراري. ولكن يمكن استخدامه في مناخ ولا يتطلب أن يتم وضع خزان الماء الساخن هذا عند ارتفاع أعلا من مصفوفة الجامع الشمسي.

الشكل (10/11) يوضح دلالة المخطط للنظام الموضح في الشكل (9/11).



شكل (10/11) المخطط الاساسي لنظام سخان الماء الشمسي
الموضح في الشكل (9/11)

طلبة التدوير الرئيسية (P1) يتم إحكامها باستخدام ثرموستات التفاضلي التقليدي (Conventional Differential)، الذي له حساس (Sensor) يوضع على مخرج المجمع الشمسي وحساس آخر عند قاع حوض تخزين مياه الساخن بالشمس. عندما يكون الماء عند قمة المجمعات الشمسية أكثر سخونة عن الماء عند قاع حوض التخزين، فإن الثرموستات التفاضلي يتحول نحو الطلبات (P1)، والطلبة (P2) تدور المياه من قاع خزان التخزين الحراري خلال المبادل الحراري وبالعكس إلى قمة حوض (خزان) التخزين، الطلبة (P2) تدور الموائع التي لا تتجمد خلال المبادل الحراري والمجمعات الشمسية. حوض التمدد يكون ضرورياً في حلقة المجمع الشمسي، نظراً لأن تلك الحلقة تكون مغلقة، وأن التمدد والانكماش للمائع يجب أن يتواءم مع التغيرات في درجة حرارته. زجاجة الملاحظة النظرية المتصلة بحوض التمدد تمكن من تعيين كمية المائع المتبقى من حلقة المجمع. هذا هام جداً، حيث أن التسرب من حلقة المجمع (Collector loop) يمكن أن يقلل أداء النظام. محابس تصريف الضغط تكون مطلوبة في المجمع وفي حلقات ماء الشرب الساخن (أو أحد خزانات حفظ الماء الساخن بالطاقة الشمسية) لتمكين البخار من الخروج عند درجات الحرارة العالية. حالة واحدة التي يمكن أن تسبب حيود لدرجة الحرارة والتي تكون انقطاع الطاقة الكهربائية في اليوم المشمس، بما ينتج عنه ارتفاع درجات حرارة للمجمع الضغوط العالية في حلقة التبريد الأولية، وكذلك مع زيادة ضغط البخار، في حوض تخزين مياه التسخين الشمسي. محابس تصريف الحرارة والضغط على خزانات الماء الساخن هي من المتطلبات

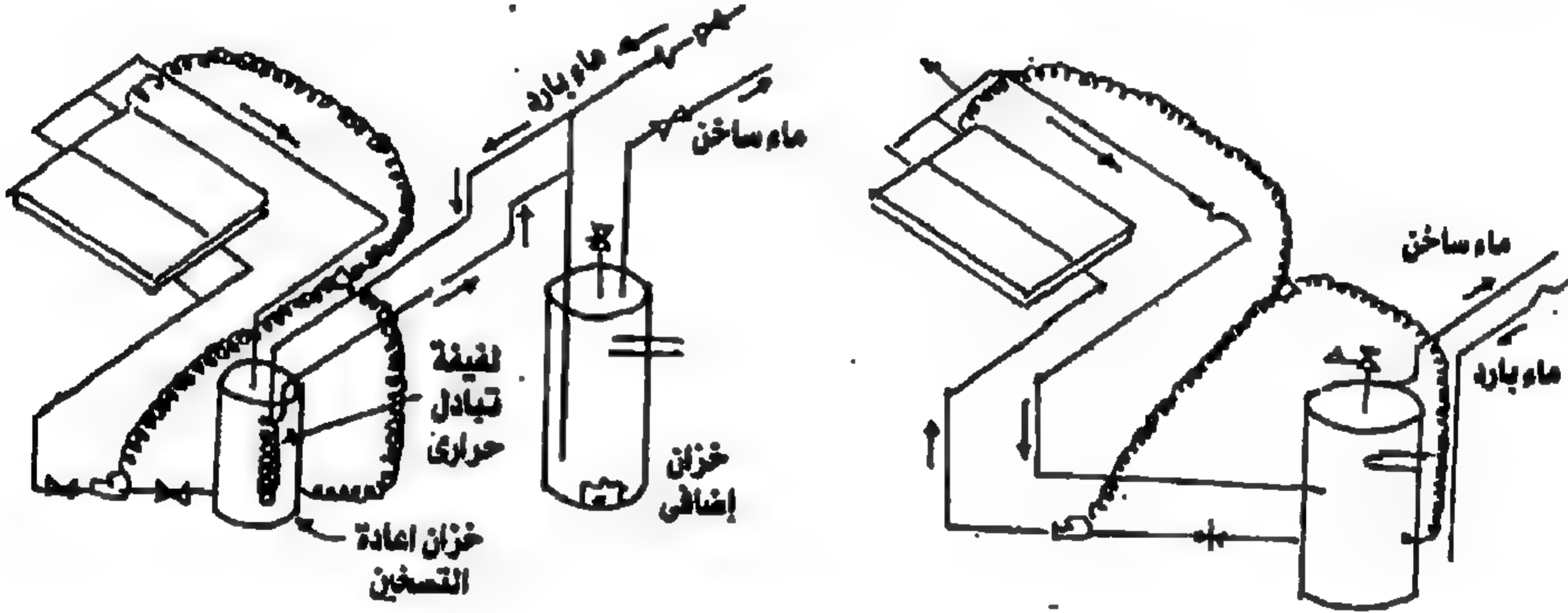
العادية لكود المبنى. فى إنشاء منظومة المجمع يجب أن يكون هناك على أى حال غلاف محكم (Tight Enclosure) حول أطراف مصفوفة المجمع. هذا يكون (1) لتوفير الحماية لمواسير الإمداد والعودة ومنشأ التحميل للمجمعات (2) لتحسين المظهر للمصفوفة. إذا كان ميل السقف لا يحيد كثيراً من التوجيه المطلوب للمجمع الشمسى، فإن الغلاف يمكن توصيله مباشرة بغلاف السقف. فى مثل هذه الإنشاءات فإنه يجب إنشاء حشوة معدنية (Flashing) (التغطية أو وقاية بعض الزوايا فى المنشأ وخاصة حيث يتصل السقف بحائط) حول مصفوفة المجمع لمنع التسرب. كل مواسير المياه الساخنة ما بين حوض تخزين الماء الساخن والمبادل الحرارى وما بين المبادل الحرارى والمجمعات الشمسية يجب أن يتم عزلها جيداً. بالإضافة، فإن الماء الذى تم تسخينه بالحرارة الشمسية وخزانات الماء الساخن التقليدية يجب عزلها جيداً.

يستخدم عادة مواسير النحاس فى المجمعات الشمسية، حيث أن النحاس يستطيع أن يتحمل حالات درجة الحرارة والضغط المتوقعة وكذلك يقاوم التآكل لحام الوصلات يتم توصيله باستخدام سبيكة لحام (Solder) مثل سبيكة (القصدير 95%، الفضة 5%). يتم استخدام شريط التيفلون ومعجون تيفلون الماسورة (Teflon) على كل الوصلات المقلوطة، وتكون جلب الوصل المرنة (Flexible coupling) حيثما كان الدوران الحرارى يمكن أن يسبب تسرب. الطلمبات يجب أن تجهز بمحبس سكرينة كامل التدفق (Full flow gate valve)، موضوعاً عند المدخل والمخرج ليسمح لطلمبة التدوير بإمكان استعادتها أو إصلاحها بدون الحاجة لصرف كل النظام.

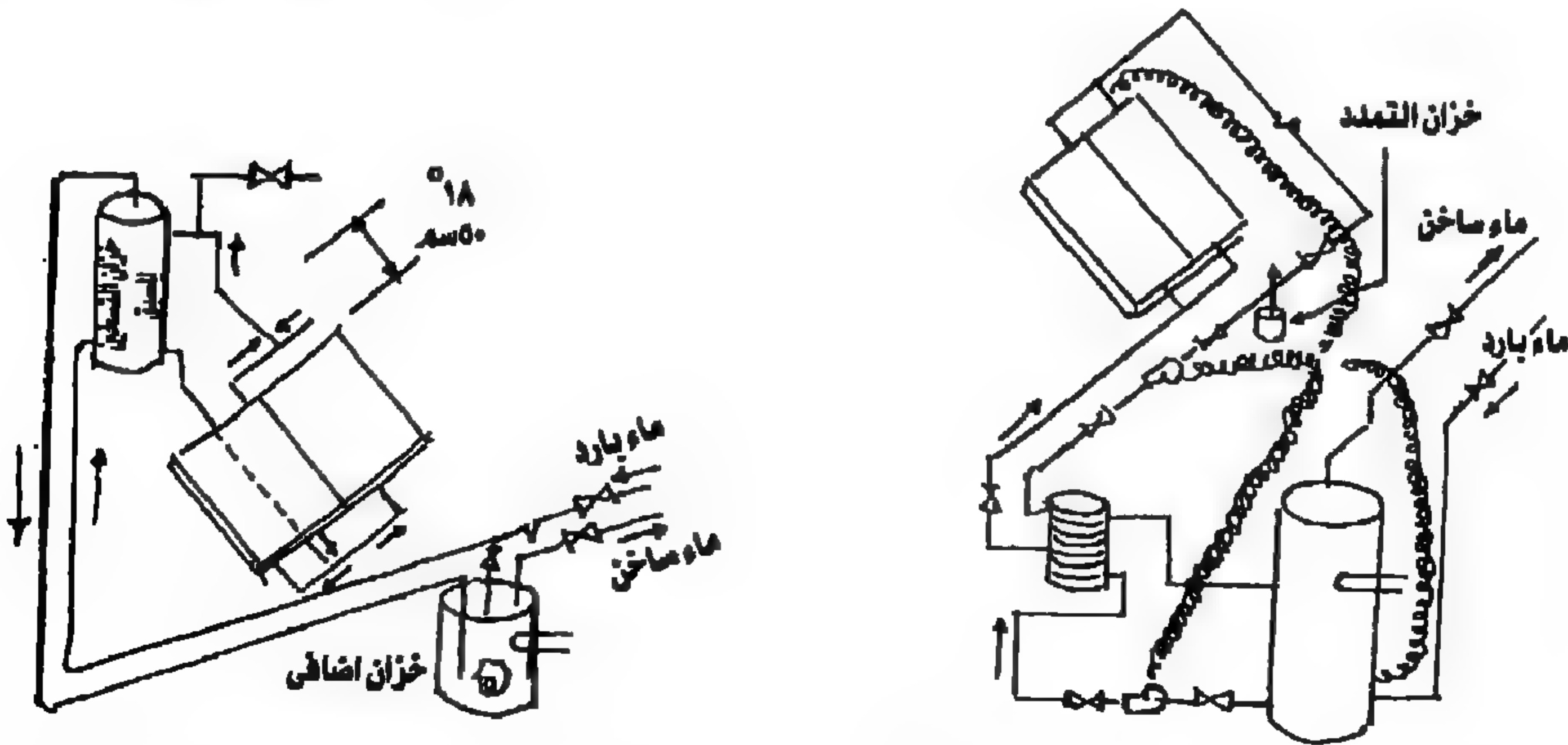
نظم الماء الساخن المنزلى تتطلب مبادل حرارى ذو جدار مزدوج إذا كان المائع الذى لا يتجمد فى حلقة المجمع الأولى سام. مثال للموائع السامة هو إيثيلين جليكول، زيت السيليكون المقاوم للتجمد. المبادل الحرارى مزدوج الجدار، يقلل من أداء النظام مقارنة بالمبادل الحرارى ذات الجدار الواحد. المبادل الحرارى يجب إنشاؤه فى مساحة معزولة أو ساخنة الغير معرضة إلى درجات حرارة التجمد. استخدمت المبادلات الحرارية ذات الجدار الواحد بمحلول (Propylene glycol solution)، فى حلقة التدوير الأولية نظراً لأن البولى بروبيلين جليكول غير سام. بينما أن مادة الإيثيلين جليكول (Ethylene glycol) شديدة السمية، إلا أن البروبيلين جليكول يستخدم عادة كإضافات غذائية. مهما كان السائل المستخدم فإن المنشأ يجب أن يحقق متطلبات الكود. نظم المياه الساخنة الشمسية تنقسم إلى إما المباشرة أو الغير مباشرة أو النشطة أو الغير نشطة. سخانات الماء الساخن الشمسية الغير نشطة (Passive) تتضمن النوع السيفون الحرارى (Thermosyphon)، وأشكال بسيطة مثل الخزان على السقف، الذى يسخن الماء بدون استخدام طلمبات، محابس تعمل بالكهرباء، نظم تحكم اليكترونية.

النظم النشطة تستخدم الطلمبات لتدوير المائع خلال المجمعات الشمسية ويستخدم تجهيزات تحكم إلكترونية لتشغيل الطلمبة، تنقسم الأنظمة النشطة إلى المباشرة أو الغير مباشرة. في نظم تسخين المياه المباشرة فإن ماء التسرب يتم تدويره مباشرة خلال المجمعات الشمسية ثم إلى حوض التخزين، مثل هذه النظم لا تستخدم المبادل الحرارى. النظم الغير مباشرة لها مبادل حرارى بين حلقة المجمع وحلقة ماء الشرب مع المائع المقاوم للتجمد الذى يدور خلال المجمعات. مثل هذه النظم تستخدم محاليل الإيثيلين جليكول، محاليل بروبيلين جليكول، هيدروكربون، زيوت سيليكون أو الهواء كمائع أولى لانتقال الحرارة ليدور خلال المجمعات والمبادل الحرارى. النظم الغير مباشرة عادية إلى حد كبير فى الأجواء حيث يحتمل حدوث التجمد نظراً لوجود حماية ضد التجمد.

الشكل (11/11) يوضح مخطط لنظم المياه المنزلية الساخنة المستخدمة عادة.



شكل (11/11a) نظام الخزان المباشر الوحيد شكل (11/11b) نظام الصرف السفلى

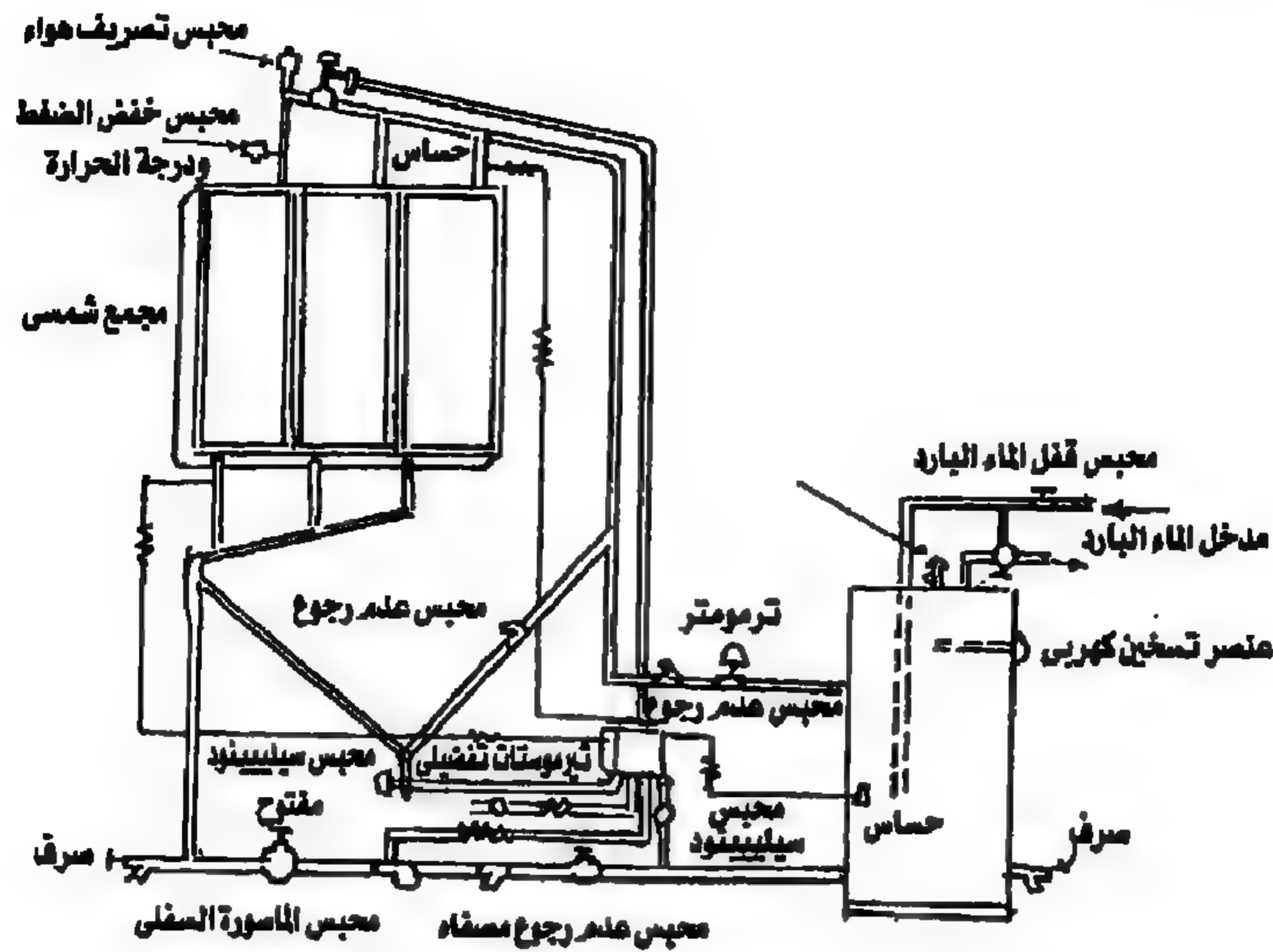


شكل (11/11d) نظام غير مباشر (ضد التجمد) شكل (11/11c) نظم السيفون الحرارى
شكل (11/11) نظم أربع لتوليد الماء الساخن

النظامين الأولين (أ، ب) تدوير المياه خلال مصفوفة المجمع الشمسي وخزان الحفظ بدون مبادل حرارى فى الوسط، الصرف النشط إلى أسفل يستخدم لحماية المجمعات من التلف بسبب التجمد.

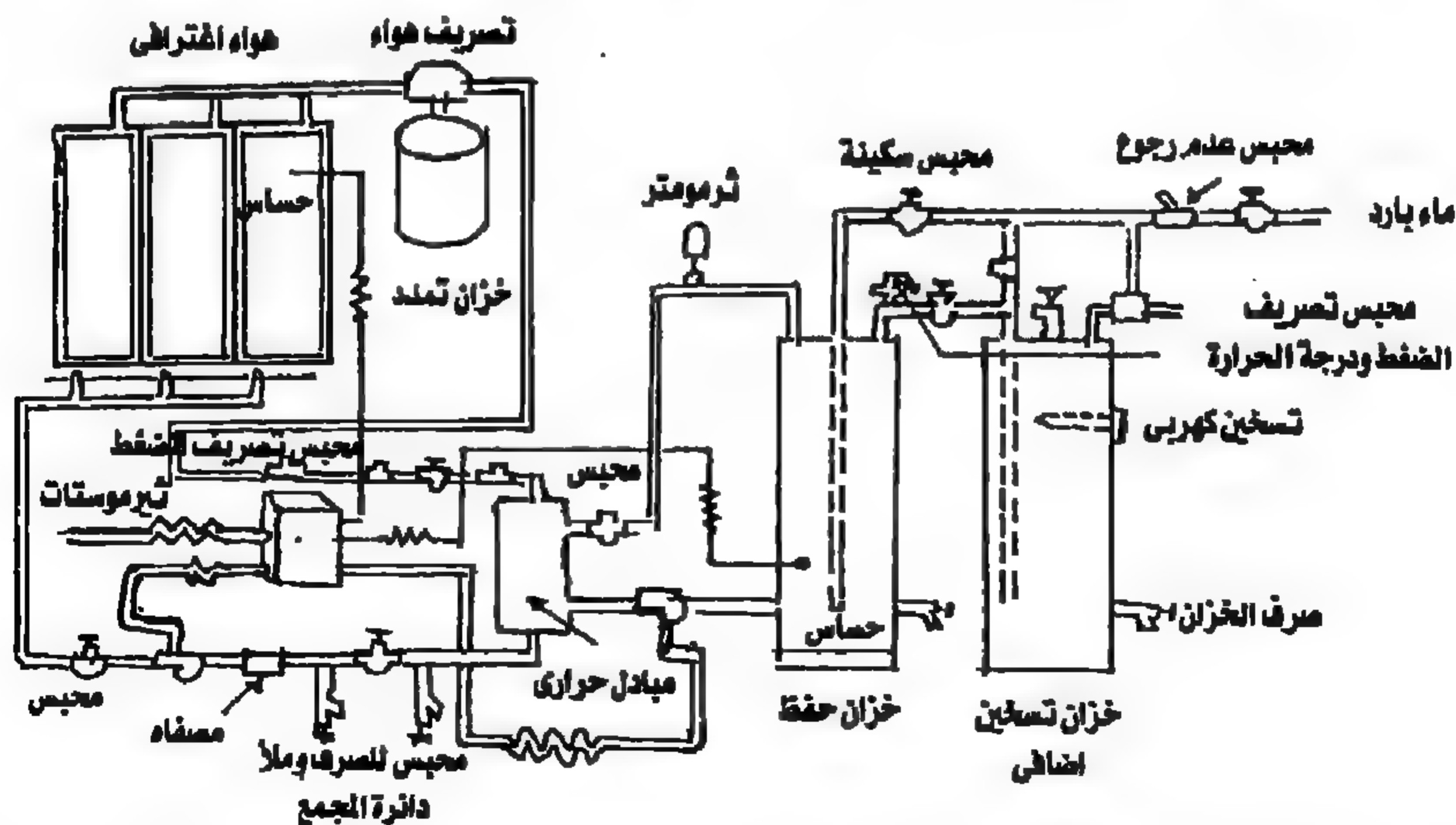
نظام الصرف السفلى النشط يستخدم محابس تعمل بالكهرباء وتجهز تحكم كهربى الذى سوف يصرف الماء من المجمع فى حالة حدوث حالات تجمد. النظم الموضحة فى الشكل (ج، د) تستخدم محلول مضاد للتجمد لنقل الطاقة المجمعة من المجمعات الشمسية إلى التخزين خلال المبادل الحرارى. تلك النظم الأربع تنشأ عادة لنظم المياه الساخنة.

الشكل (12/11) يوضح منشأ التسخين الشمسي للماء بطريقة الخزان الفردى المباشر (Direct single tank) المزود بنظام الحماية من التجمد بالصرف السفلى. فتحة تصريف الهواء توضع عند أعلا نقطة على مجمع المواسير العلوى (Upper Header) ليسمح للهواء بالخروج عند بدء تشغيل النظام، وكذلك يسمح بخروج البخار والغازات الأخرى وذلك عند تشغيل النظام. محبس التحرر من الحرارة والضغط يكون من متطلبات معظم أكواد السباكة ويقوم بالفتح لخروج وتحرير إما السائل أو البخار وذلك فى حالة زيادة الضغط، حبس تصريف الهواء يصرف فقط البخار أو الغازات الأخرى. المحابس القمرية (Solenoid Valves) هى جزء من نظام الحماية من التجمد، فى حالة اضطراب الطاقة، المحبس القمري الذى يكون عادة مفتوحاً يقفل، ومع محبس عدم الرجوع التالى للترمو متر يقوم بعزل (Seals off) الخزان من باقى النظام، بينما المحبسين المقفولين عادة يكونوا مفتوحين للسماح للهواء بالدخول ولصرف المياه من مصفوفة المجمع الشمسي. يحدث هذا عندما يكون الحساس (Sensor) عند قاع المجمعات يبين درجات الحرارة القريبة من التجمد، وكذلك عند اضطراب الطاقة الكهربائية للنظام لأى سبب. أثناء العمل العادى، عندما تكون درجة حرارة الحساس عند قمة المجمع تزيد عن تلك عند قاع الخزان. يفتح الثيرموستات التفاضلى لإمداد الطاقة الكهربائية إلى الثلاث محابس سيلينويد والطلمية لتدوير ماء الشرب خلال المجمع، عدا فى حالة ضعف الطلمبة بواسطة نظام الحماية من الحرارة الزائدة. هذا النوع من الإنشاء قد يستخدم إما واحد أو اثنين من الخزانات.



شكل (12/11) تفاعل انشاء سخان الماء المباشر الوحيد بوحدة الصرف الآلي للحماية من التجمد

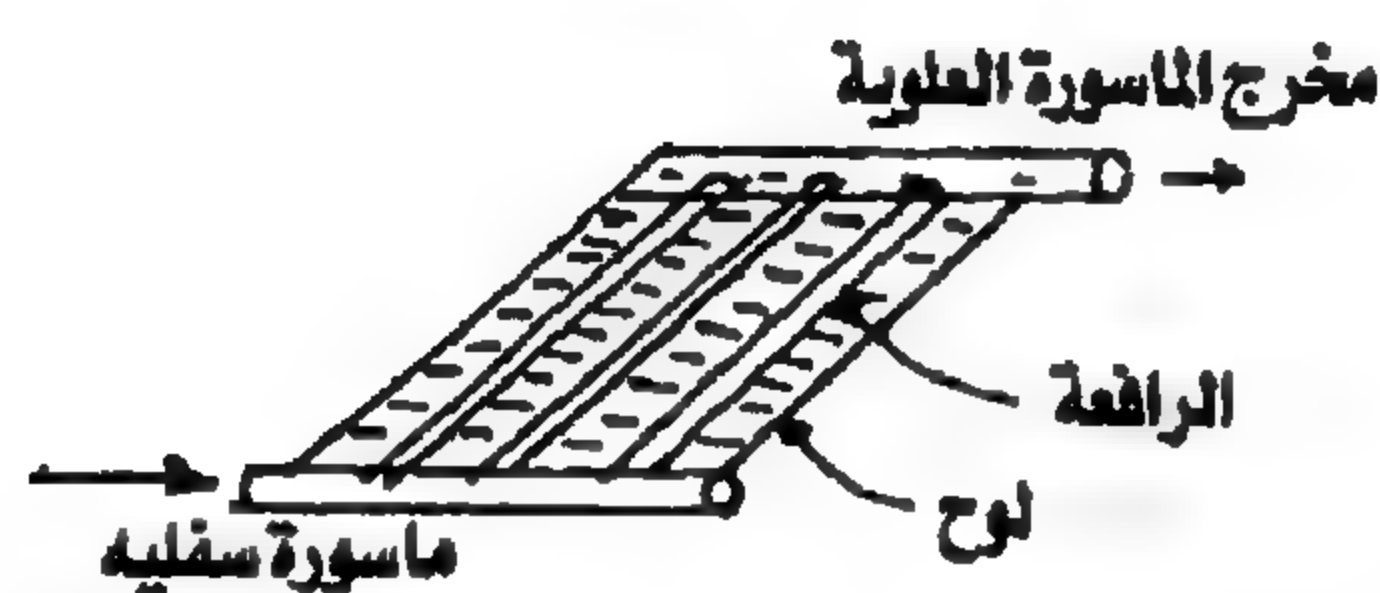
الشكل (13/11) يوضح نظام تسخين الخزان الغير مباشرة المبادل الحرارى يجب أن يكون له حائط مزدوج فى حالة استخدام مائع سام فى حلقة المجمع الشمسي (Collector loop). توضع محابس السكينة أو محابس البوابة (Gatevalve) على كل المواسير المؤدية إلى المبادل الحرارى لتسمح بعزل وصرف المبادل الحرارى للتفتيش، والنظافة، والصيانة والإصلاح. بالمثل توضع محابس البوابة على كلا جانبي الطلمبات لإمكان سحب الطلمبة بدون صرف كل النظام. حوض التمدد ضرورى لاحتواء التمدد.



شكل (13/11) تفاصيل الانشاء سخان الماء الشمسي الغير مباشر بخزانين

التسخين الشمسي للماء

التمدد الحرارى وانكماش مائع الانتقال الحرارى فى حلقة المجمع الشمسى المقفلة. تجويف الهواء ومحابس التنفيس (Vent) تزيل الهواء، البخار والغازات الأخرى من حلقة المجمع الشمسى. محابس عدم الرجوع عند مدخل الماء البارد يكون مطلوباً طبقاً لمعظم أكواد السباكة بسبب استخدام سوائل غير مستخدمة للشرب فى النظام. كلا الطلمبتين يتم تشغيلهم فى توقيت واحد باستخدام الثيرموستات عندما يزيد فرق درجة الحرارة لكلا عنصرى الإحساس (Sensor) عن فرق التشغيل (Turn on Differential)، ويتم توقفهم عند هبوط هذا الفرق إلى أقل من فرق القفل (Shut off differential).

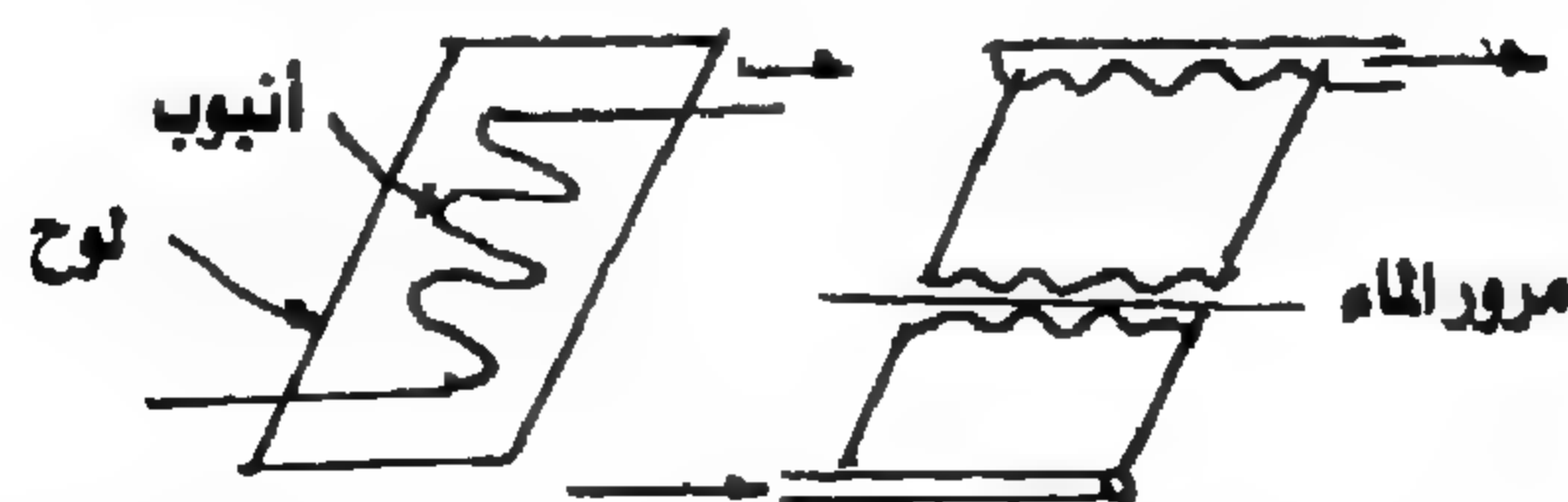


شكل (14/11) مجمع اللوح لسخان الماء الشمسى

المجمعات وخزانات الحفظ : Collectors and storage tanks

تم استخدام العديد من التصميمات المختلفة، كلها عبارة عن صندوق معزول مزود بواحد أو أكثر من الأغشية الشفافة، المحتوى على لوح لامتناس المعدن المطلى بالطلاء الأسود وبعض الترتيبات لتدوير الماء خلال اللوح.

مجمعات اللوح المستوى المستخدمة عادة موضحة فى الشكل (14/11). الماصات (Absorbers) تستخدم عادة أنابيب متوازية ذات قطر من 1.2 إلى 1.5 سم عند القمة وعند القاع. الأنابيب تكون ملحومة (Soldered) أو بخلاف ذلك مربوطة حرارياً مع الألواح. نوع آخر له أنبوب طويل مستمر منحنى فى شكل جيبي (Sinusoideal shape) مفضلاً ذلك على الأنابيب المتوازية، والأملاح مكونة من سطح واحد مستوى ووسط متعرج متصلين معاً لتكوين ممرات للماء. تلك موضحة فى الشكل (15/11).



شكل (15/11) ألواح مجمع سخان الماء التبادلية

يوجد العديد من الاختلافات الإنشائية لكل من هذين لنظم التدوير الأساسية. مهما كانت تفصيلات الإنشاء، فإن الهدف الأساسى لآى ألواح ماصة يتم تصميمها لتوفير

سطح امتصاص أقصى طاقة، أدوات جيدة لانتقال الحرارة سريعاً وبانتظام إلى تدفق الماء، التوزيع المنتظم والمتجانس للماء، ووحدة غير مكلفة مانعة للتسرب ويعتمد عليها. هذا المتطلب الأخير هو أقصى تحدى نظراً لتعرض الوحدة إلى الحالات القصوى من درجة الحرارة، والتمدد والانكماش الحرارى، ضوء الشمس الشديد، التآكل، الضغط واحتمال التجمد.

المادة العادية المستخدمة عادة لألواح الماص هو النحاس، الألومنيوم، والثالث الأقل استخداماً هو الحديد المجلفن.

ألواح جهاز الامتصاص (Absorber plate) يتم تركيبها فى صندوق من الأسبستوس الأسمنتى، مع عزل 10-15 سم خلف اللوح وواحد (وأحياناً اثنين) من الغطاء الزجاجى فوق الألواح، تاركاً حوالى 2.5 سم فتحات هواء. أبعاد الجامع الواحد (Single collector) هي 1.2 متر × 0.6 متر أو 1.2 متر × 1.2 متر، يمكن استخدام أكثر من مجمع واحد فى المنشأ.

لوح الامتصاص يكون مغطى بمادة التى تحفز قدرته على الامتصاص. أبسط وأرخص (وفى كثير من الحالات الأفضل) طلاء أو غطاء هو الطلاء الأسود المستوى. الطلاء المثالى، هو واحد من عدد من المواد تسمى المواد السوداء الانتقائية (Selective Blacks). تلك المواد السوداء لها امتصاص عالى وانبعائية منخفضة لخفض إشعاع الطاقة. ولكن تقنيات تنفيذ الطلاء ليس سهلاً، حيث تتضمن أحواض حامض، تحليل كهربى (Electrolysis)، أحياناً حتى الترسيب بالتفريغ، تلك هى كذلك تعقيدات إضافية بسبب أن معظم التغطيات التجارية من السهل تلفها بفعل الماء. هذا يعنى أن الصندوق المعزول الذى يحتوى لوح الامتصاص يجب أن يكون مانع للرطوبة ومحكم ضد الهواء والنصاق الغطاء الشفاف يصبح أكثر صعوبة. المواد السوداء الانتقائية سوف تكون أفضل ومتاحة بشك لأفضل مع تبسيط التكنولوجيا بأبحاث التيار وتحسين تقنيات التصنيع. حتى تحقيق ذلك فإن الطلاء الأسود بالبوبة له ميزة سهولة التنفيذ، التحمل ورخص التكلفة.

لا توجد مادة هى الأحسن لغطاء الألواح. المادة المستخدمة عادة هى الزجاج، والذى هو متاح، وله قدرة تحمل وكذلك قدرة انتقالية جيدة، تتضمن مميزات التكلفة، الوزن، الهشاشة، ويستخدم العديد من المواد البلاستيك والكثير تم تطويره فى محاولة نحو تقادى سلبياتها. العيوب هى التحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية للبلاستيك (عادة خلال سنين قليلة) وعدم قدرته على تحمل درجات الحرارة العالية. المميزات الرئيسية للبلاستيك هى خفة الوزن، سهولة القابلية للتشغيل، المتانة، رخص السعر.

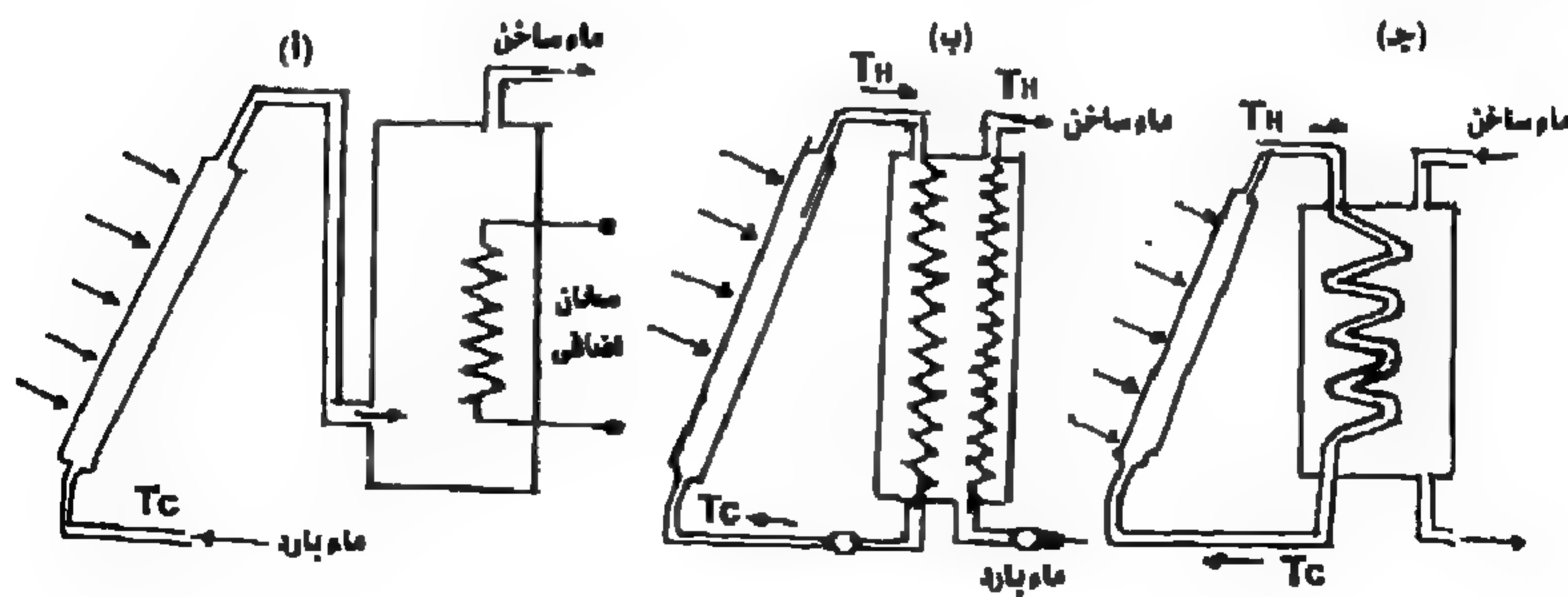
التسخين الشمسي للماء

خزانات الحفظ يجب عزلها جيداً، الأداء العادي هو باستخدام حوالي 20 سم من العزل المعدني على الأجناب، في القمة، القاع. المواسير من الجامع إلى الخزان يجب كذلك أن تكون معزولة جيداً، ومنظمة لخفض الانخفاض في الحرارة. المثالي هو المواسير بقطر 2.5 سم أو أكبر للوحدات المنزلية، مع مسافات قصيرة ما أمكن عملياً.

حوض التخزين يكون عموماً ضخماً بما يكفي لاحتواء حوالي الأعداد ليومين من الماء الساخن. ميزة كبر طاقة التخزين (الخزان الأكبر) يمكن معادلته بزيادة الفقد بسبب زيادة المساحة السطحية وزيادة زمن التخزين. الحكم هو أساساً اقتصادي، الخزان الضخم سوف يحمل خلال فترات عدم الإشعاس الطويلة ولكن سيكون مكلفاً، الخزان الأصغر سيكون أقل تكلفة ولكن الحرارة الثانوية سوف تستخدم للتعويض في عدم الأداء الشمسي وسوف من المحتمل أن تتضمن استهلاك وقود تقليدي.

المبادلات الحرارية : (Heat Exchangers)

الاستخدام الأساسي للتسخين الشمسي للماء هو الإمداد بالماء الساخن. ماء الصنبور الساخن بالطاقة الشمسية يمكن استخدامه مباشرة، أو في حالة الحاجة إلى درجات الحرارة الأعلى فإن الماء يمكن زيادة تسخينه باستخدام سخان إضافي وتكميلي. الشكل (17/11a) في كثير من التطبيقات يكون من الضروري انتقال الحرارة من مائع الانتقال الساخن بالطاقة الشمسية إلى الإمداد بالماء البارد. كمثال، مائع الانتقال يمكن أن يكون الماء الذي تم إضافة مادة مضادة للتجمد إليه لمنع حدوث التجمد والتآكل خلال المصفوفة. يتم تدوير مائع الانتقال في حلقة مغلقة والحرارة المنقولة خلال المبادل الحراري بالتدفق المعاكس (Countercurrent) إلى تدفق ماء الصنبور أو الماء البارد شكل (17/11b) كذلك يمكن انتقال الحرارة خلال مبادل حراري وحيد التيار إلى حوض التخزين للماء شكل (11/16).



شكل (11/6a,b,c)

شكل (11/16) نظم الإمداد المختلفة بماء التسخين الشمسي

- أ. نظام الحلقة المفتوحة - حيث التسخين للماء بالطاقة الشمسية ثم سخان إضافي.
 ب. نظام الدائرة المقفلة حيث تنقل الحرارة من مائع ناقل بالتسخين الشمسي إلى تيار ماء عكسي.
 ج. نظام الدائرة المقفلة حيث تنقل الحرارة إلى خزان حفظ للماء بمبادل حراري وحيد التيار.
 كما هو موضح في الفصل رقم (2) معدل الانتقال الحراري من المائع الأكثر سخونة إلى المائع الأبرد في المبادل الحراري بالتدفق المعاكس هو:

$$Q = U_L \times L \times L.M.T.D$$

حيث:

U = معامل الانتقال الحراري

L = طول المبادل

$LMTD$ = ولغاريتم متوسط فرق درجة الحرارة إلى

Log mean temperature difference

ما بين المائع الساخن والبارد الذي يساوي

$$L.M.T.D = \frac{(T_H - T_H') - (T_C - T_C')}{\ln \left[\frac{(T_H - T_H')}{(T_C - T_C')} \right]}$$

حيث:

T_C, T_H = درجات حرارة الدخول الساخن، الخروج البارد للسائل الأولي (بالتسخين الشمسي) و

T_C', T_H' = هي درجات حرارة خروج الماء الساخن ودخول الماء البارد للمائع الثنائي (مثال، الماء) ومعدل الانتقال الحراري يكون طبقاً للآتي :

$$Q = m_f C_{pf} (T_H - T_C)$$

$$Q = m_f C_{pf} (T_H' - T_C')$$

أو مكافئاً لـ

حيث: m_f = تدفق الكتلة كجرام/الثانية

C_{pf} = الحرارة النوعية جول/كجرام °م

من الواضح أن ماء الصنبور الذي تم تسخينه ليس ساخناً مثل مائع الإقفال بالتسخين الشمسي ($T_H > T_H'$)، بالتالي فإن الحرارة التي تم إمدادها بواسطة المصفوفة

تم هبوطها إلى حد ما بالمبادل. على الجانب الآخر مائع الانتقال الحرارى يدخل ثانياً إلى المصفوفة عند درجة حرارة أعلا عن حالة ماء الصنبور عند تسخين مباشرة $(T_c' > T_c)$.

إذا كانت درجة حرارة وسط التخزين (Storage Medium) تزداد بالتدرج مع تخزين الحرارة، فإن عملية الانتقال تصبح أقل كفاءة.

المبادلات يمكنها تبادل الحرارة بين سائلين أو بين سائل والهواء. مثلاً، فى نظم التسخين للقضاء بالهواء المدفوع عنوة فإن الحرارة يمكن أن تنتقل إلى تيار من الهواء المدفوع مثل السائل فى حوض التخزين الحرارى أو من التدفق المعاكس لسائل الانتقال الذى تم تسخينه بالطاقة الشمسية. كلما زادت كفاءة المبادل، كلما زادت كمية الحرارة المنقولة. كذلك، يتم تسخين الهواء إلى درجة حرارة أعلا ومائع الانتقال يتم تبريده بتأثير أكثر.

أحمال وأحجام النظم : (Loads and sizing of systems)

كما هو الحال بالنسبة لاستخدام آخر للطاقة الشمسية، فإن أفضل حجم لسخان المياه الشمسى طبقاً لتحقيق خدمة معينة للحاجة إلى المياه الساخنة (أى الحمل) يتوقف على مجموعة من العوامل، والتي تشمل :

(أ) الاستثمار المطلوب فى النظام الشمسى.

(ب) تكلفة البديل (الطاقة الإضافية).

(جـ) توجيه المجمع الشمسى.

(د) المناخ و درجة حرارة إمداد الماء البارد

فى حالة الإمداد المنزلى بالماء الساخن، تم تجميع مجموعة من الخبرة التى تبنى عليها التصميمات، حيث تستخدم القياس لتصميم النظام. تعيين حجم المجمع هو مثل الكثير من القرارات فى تصميم السخان الشمسى، التى تمارس فى المجال الهندسى. بالنسبة لحجم خزان الحفظ فهو يقع ما بين تكلفة أولية عالية وتكلفة إضافية عالية. حسابات حجم المجمع يمكن أن تتضمن بعض القواعد الهندسية المتطورة، لكن عموماً فى الظروف العادية، فإن المجمع الجيد يقوم بتسخين ما بين 50 إلى 100 لتر من الماء للمتر المربع فى اليوم. طبقاً لهذا المجال فإن الحجم التقريبى للتصميم الأولى يمكن تعيينه سريعاً من أرقام الاحتياجات اليومية. فى الولايات المتحدة متطلبات الماء الساخن هى حوالى 100 لتر للفرد فى اليوم، وفى أستراليا حوالى 45 لتر للفرد فى اليوم. وفى

بلادنا استهلاك الماء الساخن أقل نسبياً ويكون مطلوباً فقط في شهور الشتاء باستثناء المناطق الباردة الشمالية والفنادق. للاستخدام المنزلي تكون درجة حرارة 55°C مناسبة. كئمال، إذا كان المفروض أنه لمكان معين كان المتوسط السنوي للإشعاش (Insolation) على سطح مائل عند أبعاد متساوية عن خط الاستواء هو حوالي 5000 كيلو كالورى/ المتر المربع فى اليوم يتم استقبالهم بواسطة نظام المجمع (Collector system). فإنه يمكن أن يؤخذ الطلب على الماء الساخن ليكون 50 لتر فى اليوم للفرد الواحد أو 150 لتر فى اليوم للأسرة بمتوسط ثلاثة أفراد، إذا كانت درجة حرارة ماء الصنبور 15°C والماء الساخن 55°C ، فإنه يلزم حوالى 6000 كيلو كالورى فى اليوم. $[150 \times 1 (55 - 15)]$ لتسخين الماء. المجمع يستقبل 1500 كيلو كالورى على المتر المربع فى اليوم تقريباً $[1500 \div 6000] = 4$ متر مربع، وهو مساحة المجمع المطلوبة. بالنسبة للسخان الشمسى للماء المنزلى يمكن التوصية بحجم الخزان ليكون 1.5 ضعف المتطلبات اليومية.

مكان وميل المجمع الشمسى وعلاقته بالخزان من الاعتبارات الهامة التى تتأثر بشدة بالتصميم المعمارى ومخطط المبنى المتصلين به.

يتم توجيه المجمع نحو الشمال الحقيقى ويكون مائلاً إلى أعلا من الأقصى عند زاوية مساوية لخط العرض (Latitude) للمكان. تلك التوجيهات (Orientations) هى نظرياً المثالية بالنسبة لتجميع الحرارة خلال العام. المثال الحقيقى لمكان معين يتوقف على عوامل كثيرة. فمثلاً، إذا كان هناك سقف على المبنى الذى يمكنه أن يتسع للمجمع، فإن ذلك من المحتمل أن يكون من المفضل من الناحية الاقتصادية وضعه هناك، أفضل من بناء منشأ مستقل إذا كانت زاوية السميت للسقف (Azimuth of the roof) خلال 15° من الشمال الحقيقى، وإذا كان الميل هو فى حدود 10° من زاوية خط العرض، فإن الفقد فى الكفاءة مقارنة بالمثالى يكون فى حدود من 10-15% ويكون من المفضل إضافة مجمع إضافى. الميل والتوجيه لهم أهمية قليلة فى حالة اقتراب خط العرض من خط الاستواء. أحمال الطاقة فى اليوم على نظام الماء الساخن سيكون بالنسبة للمعامل مقارنة بالأحمال المنزلية. نظم التدوير عنوة (Forced circulation) هى المستخدمة عادة فى المنشآت الضخمة.

مثال:

متوسط شدة الإشعاع المتاحة هو 6 كيلوات ساعة/المتر المربع، مع 30% كفاءة تجميع، متوسط الإشعاع الحقيقى متاح

$$= 0.3 \times 6 = 1.8 \text{ كيلوات ساعة / المتر المربع}$$

متطلبات الماء الساخن هي 200 لتر/اليوم مع ارتفاع درجة الحرارة من 15

إلى 65°م = 50°م

الحل :

$$mcp\Delta T = \text{الحرارة اللازمة لتسخين المياه}$$

$$= 200 \times 10^3 \times 50 \text{ calories}$$

$$= 10^7 \text{ calories}$$

$$= 10^7 \times 4.187 \text{ Joules}$$

$$= \frac{10^7 \times 4.187}{3.6 \times 10^6} \text{ KWh}$$

$$= 11.5630 \text{ KWh}$$

$$[1 \text{ Kwh} = 3.6 \times 10^6 \text{ Joules}]$$

$$\text{.. متوسط مساحة الجمع} = \frac{11.5630}{1.8} = 6.436 \text{ متر مربع}$$

مثال:

عين حجم مصفوفة التسخين من العوامل الآتية:

متطلبات التسخين اليومية لمنزل أثناء فصل التسخين هي 100 كيلوات ساعة في اليوم (100 KW-h/day).

متوسط الأشماس اليومي على المصفوفة هو (4KW-h/m²- day). كذلك بفرض أن كل وحدة (Panel) لها مساحة 1.5 متر مربع، كفاءة 50%، وأن ثلث التسخين سوف يأتي من سخانات إضافية.

الحل :

متطلبات التسخين الشمسية هي ثلثي (100KW-h/day)، حيث الثلث يتم إمداد بتسخين إضافي.

$$\text{متطلبات التسخين الشمسي} = 100 \times 3/2 = 66.7 \text{ كيلوات ساعة/ اليوم}$$

حيث أن كفاءة المجمع الشمسي 50%. فإن المساحة الكلية المطلوبة

Q (اليومية)	= A
H (اليومية) × λ كفاءة الجمع	

$$33.3 = \frac{66.7}{0.5 \times 4} \text{ متر مربع}$$

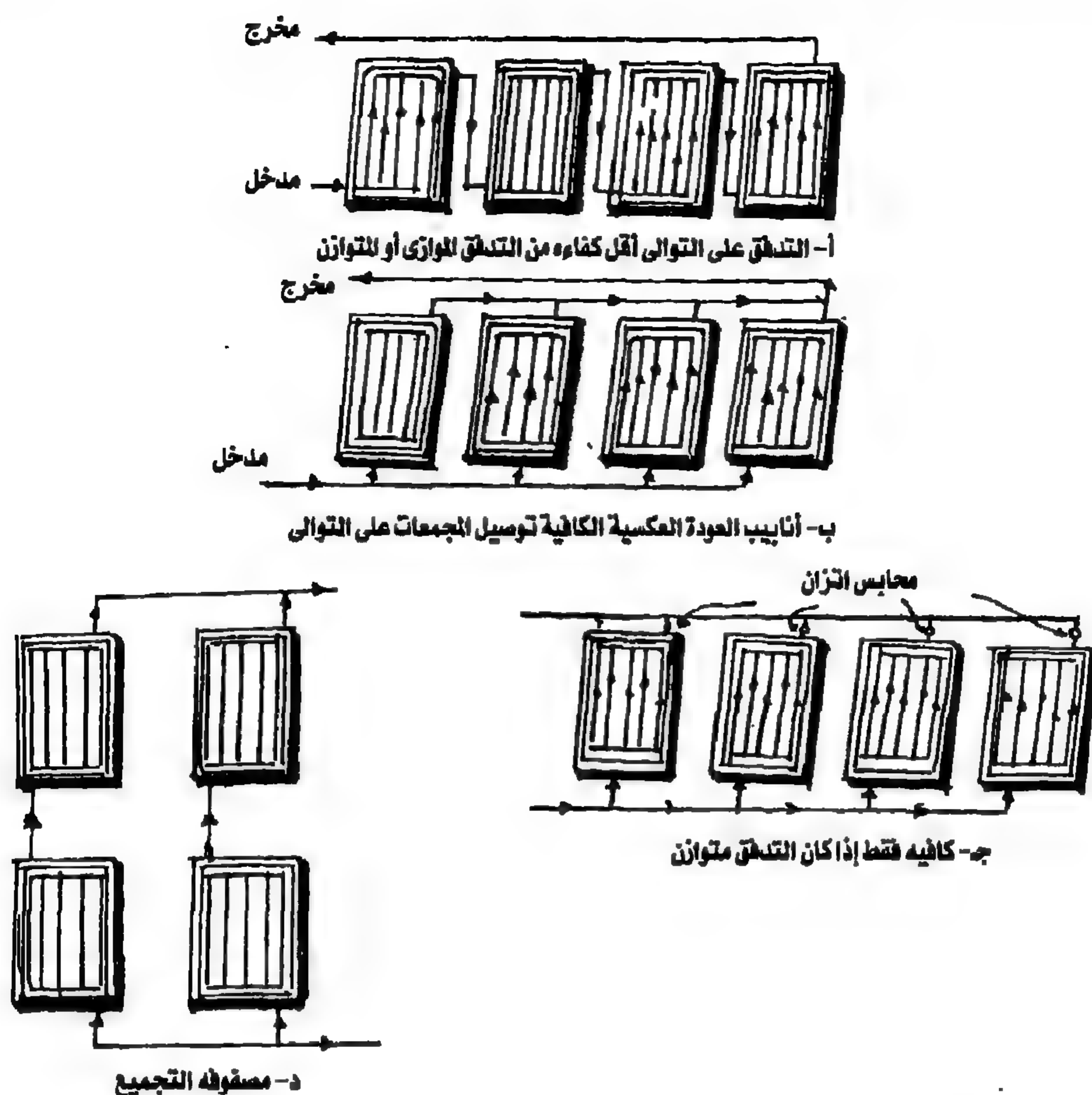
حيث أن الإطار أو الوحدة (Panel) في المصفوفة له مساحة 1.5 متر مربع، وعدد الإطارات يكون

$$22 = \frac{33.3}{1.5}$$

المصفوفات على التوازي وعلى التوالي:

Series and parallel arrays:

المصفوفة الشمسية يمكن أن تتكون من إطارات تسخين منظمة أما على التوالي أو على التوازي أو بمجموع الاثنين، كما هو موضح في الشكل (17/11). المصفوفة الكبيرة سوف لا تنتج درجة حرارة مرتفعة عن ما هو ممكن باستخدام مجمع واحد. المصفوفة من عدد (N) من الإطارات له القدرة على تجميع مضاعفات (N) من كمية الحرارة الممكنة بإطار واحد. لتجميع هذه الحرارة، فإن معدل تدفق المائع الذي يتم الإمداد به إلى المصفوفة يجب أن يزيد بمعامل $(N) >$ في المصفوفة على التوالي الخارج من أحد الإطارات يتم ارتباطه مباشرة مع الدخول إلى الإطار التالي كما هو موضح في الشكل (17/11a) وبالتالي فإن التدفق الزائد يجب أن يمر خلال كل إطار في المصفوفة. مع زيادة سرعة المائع تزداد المقاومة، لذلك كلما زاد الطول الكلي للماسورة التي يتدفق خلالها السائل، كلما زادت مقاومة التدفق. لذلك المصفوفة على التوالي الطويلة توفر مقاومة كبيرة لتدفق سائل الانتقال، والطلبات يجب أن تنتج ضغوط عالية بحيث أن الضغط عند الدخول يكون أكبر منه عند الخروج. هذا ينتج إجهاد شد (Strain) على كل من الطلمبة وإطارات المصفوفة. في حالة المصفوفة على التوالي (Series array) فإن كل الإطارات (Panels) لا تعمل بنفس الكفاءة. تلك الأقرب إلى المدخل تعمل عند درجة حرارة أقل ولذلك تكون ذات كفاءة. العكس يكون للإطارات القريبة من المخرج. لذلك وصلات التوالي تكون أقل كفاءة حرارية، نظراً لأن متوسط درجة حرارة عمل المجمع يكون أعلا، ولكن الانخفاض في الضغط خلال المصفوفة يكون عالياً. كذلك، من الصعب صرف مصفوفة الجمع، وتلف إطار واحد يمكن أن يخرج كل المصفوفة من العمل.



شكل (17/11 a,b,c) يوضح مصفوفات التوالي ، التوازي ، والمجموع

في المصفوفة على التوازي فإن مدخل كل إطار يكون متصلاً بخط التغذية العام (Common feeder line). المخرج تكون متصلة بالصرف المجمع. رغم أن المصفوفة على التوازي أكثر صعوبة في التنفيذ مقارنة بالمصفوفة على التوالي، فإنها توفر مقاومة أقل لتدفق المائع. بالإضافة، إذا كان إجمالي معدل التدفق الداخل إلى المصفوفة مقسم بالتساوي إلى إطارات منفردة، فإن خواص الأداء للمصفوفة يمكن استنتاجه بسهولة من ذلك للإطار الواحد. الكفاءة ودرجة الحرارة تزداد لمثل هذه الإطارات (N) ذات المصفوفة على التوازي هي نفسها كذلك للإطار الواحد، ولكن معدل التدفق والجمع المفيد للحرارة هو ضعف (N). الوصلة الحرارية أكثر كفاءة حرارية طالما أن التدفق خلال كل مجمع يكون متوازياً توجد طريقتين لا تزان التدفق، المحافظة على تساوي ممرات التدفق لكل مجمع أو باستخدام محابس اتزان (Balancing valves). نظام العودة العكسية (Reverse return system) الموضح في

الشكل (ب). يتطلب مواسير إضافية ولكنه يوازن التدفق خلال المجمعات، نظراً لأن ممرات التدفق هي نفسها لكل مجمع شمسي. نظام العودة المباشرة الموضح في الشكل (جـ) (Direct Return system) يمكن استخدامه بشرط توفير محابس اتزان (Balancing valves) تكون منشأة في كل مجمع شمسي لتأكيد تجانس التدفق. بالنسبة للمصفوفات الكبيرة يكون أحياناً مفيد تغيير قطر مجمع المواسير (Manifolds) لاستمرار ثبات سرعة التدفق عملياً، تستخدم المصفوفة المجموعة عادة لتسهيل الإنشاء الشكل (جـ). بمجرد تمام إنشاء المصفوفة، فإن الأداء الكلي للنظم يمكن تحليله بطريقة تشبه لتلك المستخدمة للإطار الواحد (single panel).

منحنيات الكفاءة، التي يتم توقيعها لكل من (μ) مقابل $HT / (T_{fi} - T_a)$ يمكن عملها للمصفوفة. بالإضافة، فإن درجة حرارة الخروج يمكن تعيينها بمجرد وصف معدل التدفق. في حالة استخدام جهاز تحكم، فإن معدل التدفق يمكن ضبطه لتعيين درجة حرارة التشغيل للمصفوفة.

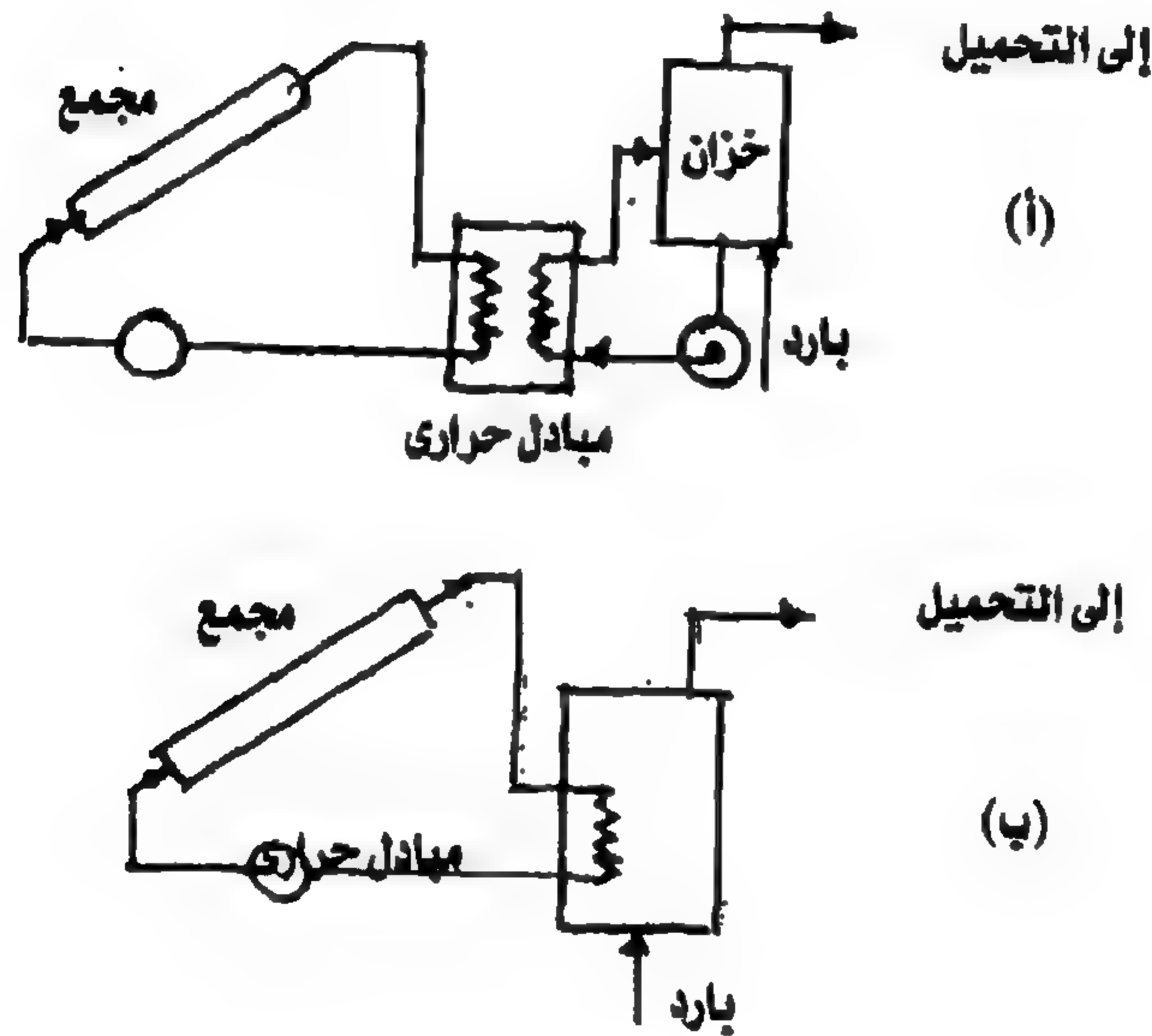
درجات حرارة التجمد : (Freezing temperatures)

كل سخانات الماء التجارية الناجحة يتم إنتاجها في المناخ الدافئ حيث لا يحدث التجمد. الخطر الذي يكون متوقعاً حيث يمكن حدوث التجمد حتى في حالة درجات الحرارة العادية لا تنخفض إلى أقل من نقطة التجمد. المواسير من النحاس في المجمعات الشمسية قد تجمدت وانفجرت في الليالي الصافية وبدون رياح عند عدم هبوط درجة الحرارة إلى أقل من 4°C فقد الحراري بالإشعاع كان ببساطة أكبر من الحرارة المكتسبة من الهواء المحيط، لذلك فإن درجة الحرارة تنخفض إلى دون التجمد. إذا كانت هذه الحالة متوقعة، حتى لو كانت نادرة، فإن الحل الممكن هو.

- 1- يمكن تصميم المجمعات ليتم صرفها في الأوقات حيث لا تكون في حالة عمل أو عندما يكون من المحتمل حدوث التجمد.
- 2- يمكن استخدام المحاليل المضادة للتجمد في المجمع، مع المبادل الحراري لنقل الطاقة إلى الماء.
- 3- المجمعات الشمسية يمكن تصميمها لتحمل التجمد الخفيف الذي يحدث من أن إلى آخر باستخدام تجهيزات مثل مطاط البيوتيل في مجمعات المواسير العليا (Butyl Rubber Top Headers).
- 4- يمكن تغطية المجمعات بعازل متحرك.

5- الطريقة الخامسة والأقل استخداماً لمنع التجمد هي بإدخال الحرارة نحو جهاز المص عند هبوطه إلى درجة حرارة قريباً من درجة التجمد. الطرق الأولية التي يمكن فيها عمل ذلك هي خلال تدوير السائل الساخن من حوض التخزين أو من عملية التسخين الكهربى المتصلة بالماص.

معظم التطبيقات لسخانات المياه تم عملها تحت ظروف حيث التجمد لا يمثل مشكلة. في الأجواء حيث التجمد يمثل مشكلة. أول طريقتين تم استخدامهم تجريبياً هما، استخدام محلول مضاد للتجمد بدلاً من الماء والذي يفرض مبادل حرارى إضافي بسين المجمع وخزان الحفظ كما هو موضح في الشكل (18/11).



شكل (18/11) طرق استخدام محلول مقاوم التجمد في سخان الماء

في نظم التسخين الشمسي التي تم مناقشتها، يستخدم مائع انتقال حرارى لا يتجمد، كذلك لنفس السبب أن المجمعات يمكنها تحمل الضغوط في معظم خطوط المياه الرئيسية للمدينة. استخدام بولى بروبيلين جليكول (Propylene glycol) كمضاد للتجمد يوصى به نظراً لأنه غير سام.

الخواص والأداء : (Characteristics and per formances)

التصميم القياسى وحسابات الأداء للمجمع تكون مبنية على فرضيات مطلقة للتوزيع المتجانس للتدفق في كل المواسير الصاعدة (Risers) في وحدات الجامع الشمسي الفردية أو المضاعفة. في حالة عدم تجانس التدفق فإن بعض أجزاء من المجمعات ذات التدفق البطئ خلال المواسير الصاعدة يمكن أن تسير عند درجة حرارة أعلا عن

الأجزاء ذات معدلات التدفق الأعلى. لذلك فإن تصميم كلاً من مجمعات التوزيع (Headers) في المجمعات الشمسية المنفردة والأنابيب المتعددة الفتحات الجانبية (Manifolds) للمجمعات الشمسية المضاعفة يكون هاماً في الحصول على أداء جيد للمجمع.

المشكلة تم دراستها بواسطة Davey , Dunkle بكل من الطرق التحليلية والتجريبية. وهي دلالة معينة في نظم التدوير عنوة الضخمة، نظم التدوير الطبيعي تميل أن تكون ذات تصحيح ذاتي والمشكلة ليست حادة نتيجة لهذه الدراسة فإن (Davey , Dunkle) أوصيا بالآتي:

- 1- لتصميم المجمعات الشمسية باستخدام مجمعات التوزيع (Headers) كبيرة بما يكفي لضمان معظم انخفاض الضغط في المواسير الصاعدة.
- 2- مجموعات حتى 24 ماسورة صاعدة يمكن أن تكون كافية لكل من التدوير عنوة والتدوير الطبيعي.
- 3- بالنسبة لمجموعات التدوير عنوة لما يزيد عن 24 ماسورة صاعدة، فإنه لا يزيد عن 16 ماسورة صاعدة يوصى بها لتكون على التوازي، بالنسبة للمجموعات الأكبر على التوالي يمكن استخدام وصلات متوازية أو مضاعفة. لقد لوحظ أنه تحت مجالات مختلفة من الظروف كانت الزيادة في درجة حرارة الماء خلال المجمعات في نظم التدوير الطبيعي هو حوالي 10°C . الشكل (19/11) بين الطرق البديلة لتوصيل مجموعات المجموعة (Collectors Bank).



شكل (19/11) الطرق التبادلية لتوصيل المجمعات مع الخزان



الفصل الثانى عشر

التدفئة الشمسية للمباني
Solar Heating of Buildings

1- مقدمة :

يمكن توفير الحرارة في المبنى لراحة المقيمين من الطاقة الشمسية بنظم كبيرة لتسخين المياه. تدفئة المساكن باستخدام الإشعاع الشمسي طريقة قديمة واستخدمت عندما بدأ الإنسان في بناء مسكنه. العمل العلمي الأول نحو التدفئة المنزلية بدأ عام 1940.

بسبب انخفاض متطلبات درجة حرارة التدفئة المنزلية، فإن التدفئة الشمسية للمباني أصبحت أهم استخدام للطاقة الشمسية. وقد أصبحت التقنية مطبورة وتكلفة التدفئة الشمسية أصبحت منافسة للتدفئة باستخدام الطرق التقليدية. بسبب الإشعاع الشمسي المنخفض الذي يصل إلى الأرض (بمقدار 300 إلى 600 وات/المتر المربع)، والطبيعة المنقطعة، فإن تخزين الطاقة الشمسية أصبح أساسى، وهذا ينتج عنه زيادة التكاليف الأولية لبناء وحدة التسخين أو التبريد الشمسي. ولكن، في حالة التصميم والإنشاء الجيد فإنه على المدى الطويل يصبح أقل من تكلفة استخدام الطاقة الكهربائية.

المائع الأكثر استخداماً للانتقال الحرارى هو الماء والهواء. المكونات الأساسية لنظم التسخين الشمسي هي (1) الجامع الشمسي (Collector) (2) التخزين (Storage)، (3) السخان الإضافي للاستخدام عند عدم إتاحة الطاقة الشمسية بسبب أيام تكاثر السحب والغيوم (4) نظام توزيع الحرارة مثل سخانات الإشعاع (Radiant Heaters)، نظام دفع الهواء (forced air) الخ (5) المروحة أو النافخ (Blower) في حالة نظام دفع الهواء، (6) التحكم.

أنواع النظم الشمسية:

يوجد نوعين للنظم الشمسية وهما النظم الفعالة أو النشطة (Active) والنظم الخاملة أو الغير نشطة (Passive). النظم الفعالة التي يتم فيها تجميع الإشعاع الشمسي بواسطة بعض من عنصر المنشأ نفسه، أو الدخول المباشر إلى المنشأ خلال نوافذ ضخمة مواجهة الجنوب. النظم الخاملة أو الغير نشطة والتي تتكون عموماً من

أ- مجمعات شمسية منفصلة التي تقوم بتسخين الماء أو الهواء.

ب- تجهيزات تخزين التي يمكنها تراكم الطاقة المجمعة للاستخدام ليلاً وخلال الأيام العاصفة.

ج- نظم تغذية إضافية لحالات الجو السيئ.

الحرارة تنقل من المجمع الشمسي أو من وسائل التخزين بمعدة تقليدية مثل وحدات مروحة الملف (Fan coil) عند الإمداد بالماء الساخن أو البارد، المروحة، مواسير

الهواء (Ducts) ومخارج الهواء، عندما يكون الهواء هو وسيط للانتقال، والوسائل الإشعاعية عندما يكون التسخين هو العمل الوحيد والذي يجب تنفيذه.

مكونات النظام : (System components)

(1) المجمعات الشمسية : (Collectors)

في نظام التسخين الشمسي الفعال، يستخدم عادة جامع منفصل وهذا يمكن أن يبنى في المنشأ، كجزء من السقف أو الحائط المواجه للجنوب، أو يمكن أن يكون تجهيز منفصل والذي في بعض الحالات، يتم إنشاؤه عند بعض الأماكن المناسبة الغير متصلة حقيقة بالمسكن. ثم تطوير أنواع كثيرة من المجمعات الشمسية خلال السنين، بدءاً بالبديل البسيط والذي هو إطار متعرج (Zig-Zag) من مواسير النحاس الملحومة مع لوح مستوى من النحاس. أحدث تطوير هو المستخدم لعملية الرباط المدرفل (Boll - Bond) حيث المواسير تكون متكاملة مع اللوح. هذا يمكن عمله فقط باستخدام المعدن المطاوع، مثل الألومنيوم أو النحاس. تم عمل العديد من النسخ من مجمعات الصلب المجلفن وتم تطوير سخانات الهواء التي تستخدم الزجاج المطلي باللون الأسود كمادة تجميع شمسي. كفاءة التجميع تعتمد على الانتقالية لزجاج الغطاء، الامتصاصية للإشعاع الشمسي بواسطة لوح الامتصاص، الانبعاث طويل الموجة للوح. كفاءة التجميع تتغير مع الوقت من اليوم وتعتمد على عدد من الساعات بعيداً عن شمس الظهيرة للمجمعات الشمسية المواجهة نحو الجنوب.

(2) تجهيزات التخزين : (Storage Devices)

تخزين الحرارة أو البرودة جزء أساسي لنظام التسخين أو التبريد الشمسي، حيث لا توجد طاقة شمسية ليلاً وفي كثير من دول العالم توجد حالات حيث تغيب الشمس لمدة تصل إلى ثلاثة أيام متتالية. أنواع نظم التخزين الشمسي أعدادها، تتكون أساساً من خزانات مملوءة بالماء، وأحياناً بإضافة سائل مانع للتجمد، أو أوعية مملوءة بقطع الأحجار الصغيرة أو الزلط. تلك تعمل بعملية الحرارة النوعية، حيث الماء له حرارة نوعية 4.187 كيلو جول/كجرام °م والصخر له تقريباً 0.837 كيلو جول/كجرام °م. نظام الطبقة الصخرية يستخدم مع الهواء كوسط انتقال حراري وهذا التجميع له ميزة أنه لا يتجمد والتسرب ليس حاداً. نظام الماء له ميزة القدرة على حرارة زائدة في حجم ووزن معين، ولكن يجب الحذر نحو منع التجمد والتسرب والذي يمكن أن يكون من الأمور الهامة.

النظام الذي مازال تحت البحث والتطوير يستخدم حرارة الانصهار لمختلف المواد، وخاصة الأملاح ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة (Eutectic salts)

الممثلة بواسطة ملح جلوبر (كبريتات الصوديوم اللامائي). هذه المادة لها حرارة كامنة تزيد إلى حد ما عن 232.2 كيلو جول/كجرام وهي تتصهر وتتجمد على 40°C تقريباً. الماء هو مادة انصهار حراري آخر والتي عند تجمده عند صفر درجة مئوية يعطى حرارته الكامنة للانصهار 334 كيلو جول/كجرام عند انصهاره، نفس كمية الحرارة يجب إضافتها إليها.

(3) نظم التوزيع : (Distribution systems)

عند استخدام الماء كوسط للانتقال الحراري، فإن الحرارة التي تحمل إلى المنشأ بواسطة أنابيب الإمداد والعودة والهواء خلال المنشأ يتم تسخينه بدفعة فوق لفة من المواسير مزودة بزعانف (Finned coil)، مستخدماً مجموعة من المروحة - ولفة المواسير (Coil) من النوع المستخدم على نطاق واسع في التسخين وتكييف الهواء. التسخين الإشعاعي يمكن استخدامه كذلك، مستخدماً أما أنابيب رقيقة على طول الجزء العلوي للحائط، أسفل السقف مباشرة أو استخدام أنابيب مدفونة خلال السقف أو الأرض. عندما يكون الهواء هو وسط الانتقال الحراري فإن المروحة التي تسحب الهواء خلال المجمع الشمسي وتدفعه إلى التخزين يمكن استخدامه كذلك لإحداث التدفق للهواء إلى مختلف الغرف الجارية تدفئتها. مخارج الهواء التقليدية سوف تتقدم عندئذ توزيع الهواء بانتظام. عند محاولة التبريد، فإن نظام المروحة لفات المواسير (Fan - coil) هو النوع الأكثر استخداماً نظراً لأنه يمكنه كلاً من التدفئة والتبريد طبقاً لدرجة حرارة الماء المتدفق خلال أنابيبه. التدفئة الإشعاعية ليست مستخدمة كثيراً وليست ناجحة عندما يكون من الواجب عمل التبريد كذلك، لأن الانخفاض في درجة حرارة الهواء إلى ما دون نقطة الندى سوف يسبب نقاط من الرطوبة تتكون على سطح الإشعاع وهذا حل غير مسموح به.

(4) التدفئة والتبريد الإضافي (Auxiliary Heating and cooling)

جهاز التسخين أو التبريد الإضافي هو ذلك الذي يحمل جزءاً من الحمل خلال فترات مطالب التدفئة أو التبريد العالي. يمكن أن يكون سخان يعمل بحرق الوقود، أو سخان كهربائي أو نظام التبريد بالضغط الذي يعمل كمضخة حرارة في أسلوب تسخين. بالنسبة للتبريد، فإن طلبية التسخين تقدم حل جيد للمشكلة، نظراً لأنه يمكنها التدفئة في الشتاء والتبريد في الصيف. المقاومة الكهربائية يمكن استخدامها، ولكنها مكلفة نسبياً نظراً لأن كل كيلوات ساعة ينتج حوالي 660 كيلو كالوري، بينما طلبية الحرارة (Heat Pump)، ذات معامل أداء 4 أو 5 سوف تنتج من 3 إلى 4 كيلو كالوري/كيلو ساعة وكذلك يمكنها توفير التبريد في فصل الصيف.

(5) التدفئة والتبريد الاحتياطي : (Stand by Heating and cooling)

النظام الاحتياطي هو ذلك الذي يمكنه حمل كل حمل التدفئة أو التبريد ويمكن استخدامه في حالة عدم أداء النظام الشمسي إطلاقاً. يمكن استخدام الغاز الطبيعي أو الكهرباء كمصدر احتياطي. التجميع بين مضخة الحرارة والماء بالتسخين الشمسي يشكل طريقة اقتصادية لحل هذه المشكلة كما تم تنفيذه في طوكيو.

(6) نظم التبريد : (Colling systems)

أحد الطرق العملية لتوفير التبريد بالإشعاع الشمسي كمصدر للطاقة هو نظام الامتصاص. هذا يمكنه استخدام الماء كماء والأمونيا كمبرد (Refrigerant) أو أن الوضع يمكن أن ينعكس ويمكن استخدام برميد الليثيوم (Lithium Bromide) كماء مع الماء كمبرد. النظام الأخير هو الأكثر استخداماً في نظم التبريد الشمسي، ولكن له السلبية التي تتطلب درجة حرارة تشغيل قريباً من 93°م، وهذا يكون يصعب تحقيقه بالنسبة لمجمع اللوح المستوى للحصول على ما يزيد عن 6 ساعة/ اليوم.

نظم التسخين الشمسي : (Solar Heating systems)

أ- النظام الخامل الغير فعال : (Passive system)

زيادة عدد المساكن المستخدمة لمختلف النظم الخاملة تم بناؤه وكذلك تحت الإنشاء أساساً في المباني ذات النوافذ الضخمة التي تواجه خط الاستواء (الجنوب في نصف الكرة الشمالي، والشمال في نصف الكرة الجنوبي) ومنظمة لتسمح بالإشعاع الشمسي في المبنى عندما تكون الشمس منخفضة في سماء الشتاء والتي سميت البيوت الشمسية (Solar Houses). المكاسب المطلوب تحقيقها من النوافذ ذات التوجيه الصحيح كبيرة، ولكن في المناخ البارد فإن الفقد خلال فترات الإشعاع المنخفض، الليل، وجود السحب يلزم إحكامه لتحقيق المكاسب النهائية.

مفاهيم التصميم الشمسي الخامل الغير فعال تتضمن طرق الجمع، التخزين، وتوزيع والتحكم في تدفق الطاقة الحرارية بالطرق الطبيعية للانتقال الحراري. التعريف يمكن أن يشمل التبادل الحراري بين العناصر الأساسية للبناء الشمسي. الفضاء (Space) المطلوب تسخينه أو تبريده، الجامع الشمسي (السماح للطاقة الشمسية بالدخول في النظام وتحوله إلى حرارة) لنظام التسخين أو الغور (sink) الذي يتم صرف الحرارة إليه) لنظام التبريد والتخزين الحراري وهم العناصر الأساسية للبناء الشمسي. إذا كانت تبادلات الطاقة الممكنة بين الجامع أو الصرف (Sink)، فإن الفضاء الحي والتخزين يكونوا بفعل ظاهرة الدفع عنوة مثل استخدام المراوح، الطلمبات.. الخ، عندئذ فإن النظام

التدفئة الشمسية للمباني

يمكن تصنيفه كنظام فعال أو نشط (Passive). الجمع بين النظم الفعالة والغير فعالة أحيانا يسمى النظام المختلط (Hybrid system).

لذلك النظم الغير فعالة الخاملة ليس لديها مجمعات شمسية وتخزين طاقة منفصلة أو وسائل ميكانيكية. وهي تستفيد من الطاقة المتاحة في بيئتها المجاورة والعمليات الطبيعية هي التي تقوم بتبادل الطاقة. المصطلح "التدفق الطبيعي للطاقة" "Natural Energy flow" لا يتم تفسيره على أنه تدفق طاقة غر منظم. في الواقع التدفق يمكن أن يكون عالي التنظيم بالتحكم مثل المخمدات (Dampers)، النوافذ القابلة للفتح والغلق وبالعزل المتحرك أو تجهيزات التظليل. النقطة الهامة التي يلزم ملاحظتها هي أن التدفق يكون بدون قوى ميكانيكية.

في حالة تصميم البناء بطريقة جيدة :

1- فإنه يجب أن يعمل كمجمع شمسي، حيث يجمع الحرارة عند سطوع الشمس وتخزينها للاستفادة بها بعد ذلك.

2- يجب أن يكون المبنى بصفة وعاء للتخزين الشمسي. يجب أن يقوم بتخزين الحرارة في حالات البرد عند عدم سطوع الشمس وتخزين البرد لتفترات الدفء الشديد أو الحرارة وعندما تكون الشمس ساطعة. المواد الذي تصنع من المواد الثقيلة مثل الأحجار أو الطوب اللبن أو الحجر الجيري ذات معدل الانتقال الحراري الضعيف تؤدي ذلك بكفاءة.

3- يجب أن يكون المبنى مصيدة جيدة للحرارة. يجب أن يستفيد من الحرارة (أو البرودة) ويدعها تتطلق وتهرب ببطء شديد جدا. يتم ذلك أساسا بخفض الفقد الحراري للمبنى خلال استخدام العزل وخفض نوافذ التسرب والتدفق المفاجئ.

جدار وسقف المبنى يجب توجيهه بالطريقة حيث يستقبل حرارة الإشعاع الشمسي في الشتاء ويحجبها في الصيف. المبنى يمكن أن يستفيد من توجيهه، لأسباب مشابهة يجب أن يستفيد من النسب المختلفة لطوله إلى عرضه إلى ارتفاعه. أفضل شكل يفقد أدنى كمية من الحرارة التي تتحرك إلى الخارج ويكتسب أقصى كمية من الحرارة الشمسية في الشتاء، ويحتفظ بأدنى كمية من الحرارة الشمسية في الصيف.

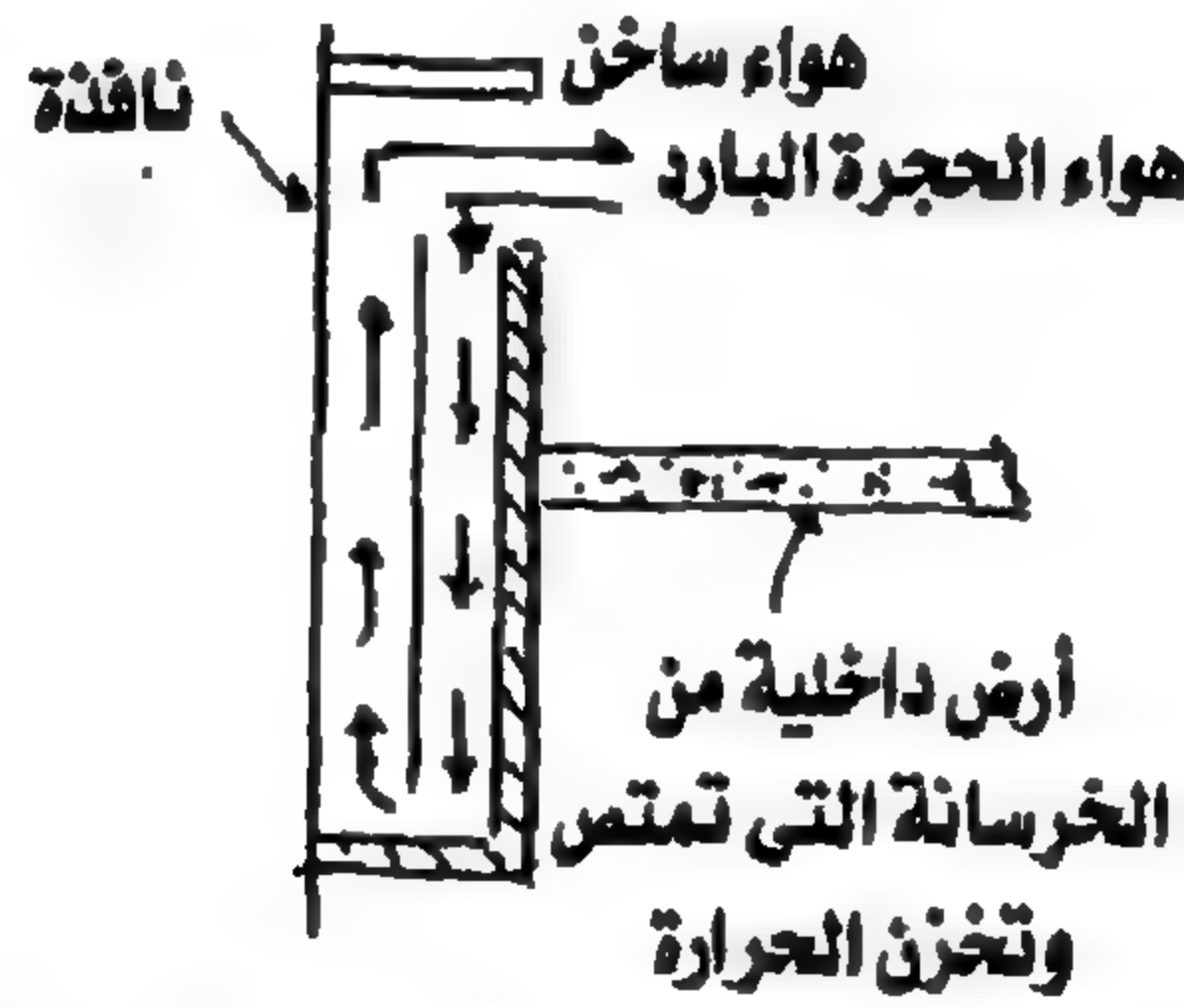
رغم أن لون وتوجيه وشكل المبنى هو من العوامل الهامة في اكتساب الحرارة الشمسية، فإن المكون الرئيسي هو نوافذه . بجانب خفض الطاقة الكهربائية المطلوبة للإضاءة، فإن الزجاج المعرض لضوء الشمس يسمح بالحرارة. المنازل التجريبية التي لها الحوائط المواجهة نحو الجنوب المكون معظمها من الزجاج تصميم للاستفادة من هذه الحقيقة.

التدفئة الشمسية للمباني

تأثير الصوبة (Green House Effect) (حيث الزجاج يسمح بالإشعاع ذو الموجة القصيرة من الهروب) وهي المسئول أساساً عن هذه الظاهرة. تصميم النوافذ المواجهة للجنوب يتطلب أن الطاقة الحرارية داخل المبنى تكون كبيرة لتمتص الحرارة الزائدة المخزنة بحيث أن الفضاء الداخلي لا يتطلب تهوية (Venting). كلما كان مقدار العزل للحوائط والنوافذ جيداً، كلما قل الفقد في الحرارة خلال الانتقال الحراري وزادت الطاقة الحرارية.

الأطر الشمسية التي تعمل بالسيفون الحراري (Thermosyphoning solar panels) تدير الهواء أو الماء طبيعياً أو بدون مصدر إضافي من الطاقة مثل المروحة أو الطلمبة. مع تسخين الهواء أو الماء بالشمس، فإنه يتمدد ويرتفع خلال المجمع الشمسي. هذا التحرك يسحب خلفه الهواء أو الماء الأكثر كثافة من تخزين الحرارة الشمسية أو من المبنى.

تم تصميم مبنى كمثال ممتاز لاستخدام الطاقة الشمسية لتدفئة الفضاء على مستوى كبير ولكن بدون أجزاء متحركة وببساطة متطورة. المجمعات الشمسية تم تصميمها بحيث الإطارات المعدنية المموجة السوداء تكون موضوعة خلف الإطارات الزجاجية التي تغطي الجدار الشرقي، أو الجنوبي أو الغربي للمبنى. الشكل (1/12) يوضح مخطط للمجمع.

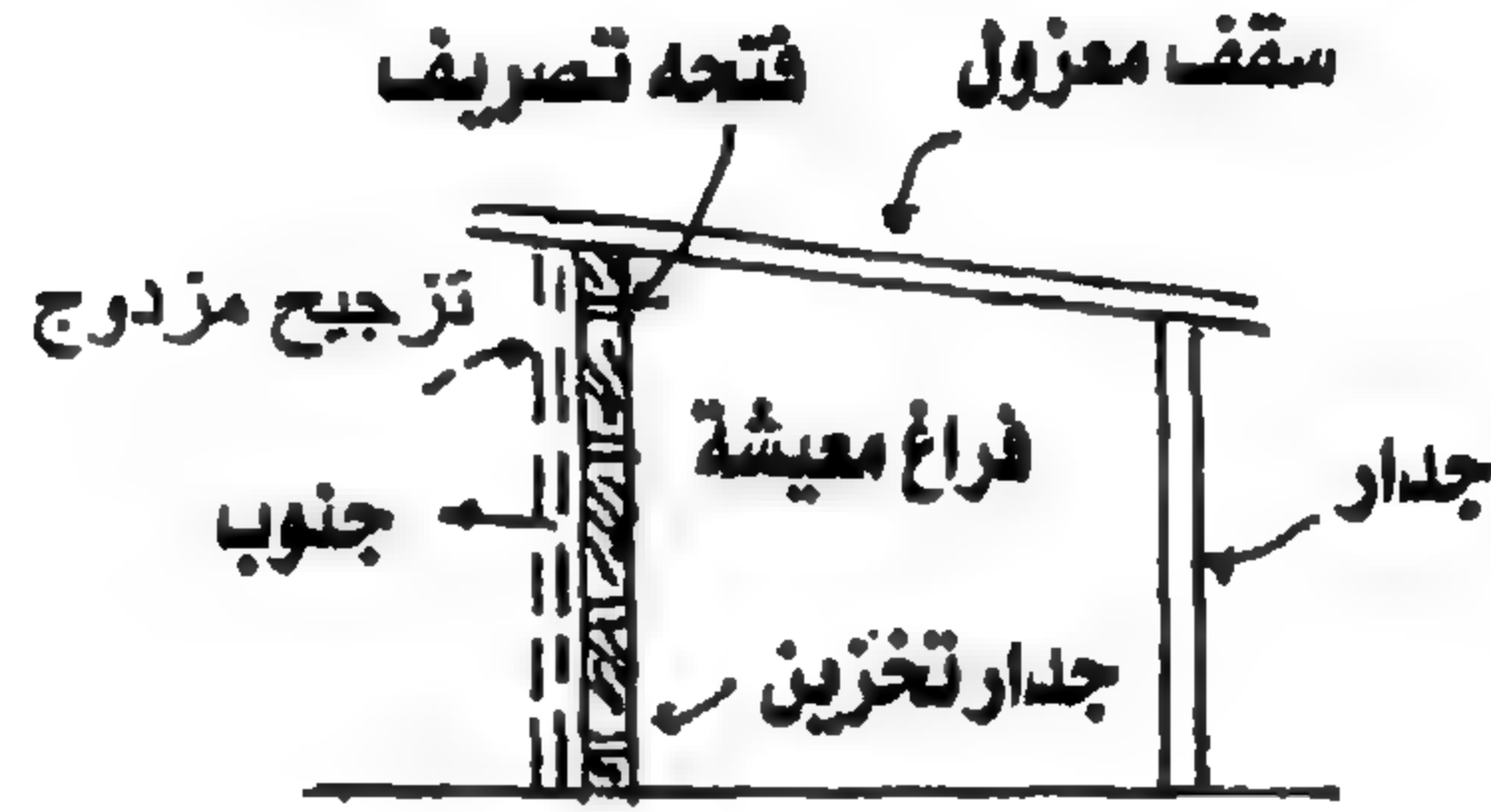


شكل (1/12) مخطط للمجمع الشمسي بالسيفون الحراري

الإشعاع الشمسي يخترق خلال الزجاج ويصدم بالإطار المعدني المموج (Corragated) الذي يكون محتويًا في المساحة المحددة بالزجاج والمسلك (Duct). مع تسخين الهواء، فإنه يرتفع إلى أعلا وإلى الخارج خلال التصريف (Vent) وإلى الغرفة، هواء الغرفة الأبرد يتم سحبه في نفس الوقت خلال نفس التصريف وإلى أسفل ما بين ظهر الماص (Back) والمسلك.

لا يوجد احتياط أو تدبير باستثناء كتلة المبنى (أرضية الخرسانة تحديداً) المصنوعة لتخزين الحرارة في هذا النظام، والأكثر تأثيراً عند سطوع الشمس.

اللوحة الماصة التقليدية ليس ضروري مطلقاً في مجمعات السيفونيات الحرارية. في المجمعات من النوع الهوائي يمكن استخدام العديد من الأسطح البديلة للوح المعدني المستوي. السطح الحقيقي يمكن أن يكون سطح امتصاص نفسه، مع حب إضافة أسود في الخرسانة. تم عمل العديد من التجارب المتضمنة تطوير إنشاءات التسخين الشمسي. مقطع لتلك المباني، الذي يوضح حائط تخزين المجمع (Collector storage Wall) موضح في الشكل (2/12).



شكل (2/12) مخطط لمقطع لمنزل بالتدفئة الشمسية

النظام خامل وغير فعال، ذلك لأن الإشعاع الشمسي يتم امتصاصه بالخرسانة الثقيلة، الجدار المواجهة ناحية الجنوب المغطى بواسطة طبقة زجاجية فردية أو مزدوجة. المسافة بين الزجاج وجدار الخرسانة هي حوالي 10 - 20 سم. جدار الخرسانة يكون بسمك 70 سم، ومطلّى باللون الأسود، والذي يعمل كلاً من الماص للإشعاع ووسط للتخزين الحراري. الفتحات تكون متوفرة خلال الخرسانة عند القمة وعند القاع، بحيث أن يدور الهواء خلال الفضاء بين الزجاج والخرسانة، وخلال الغرفة. هذا الدوران هو بالحمل الحراري الطبيعي (Natural convection)، ولا يتم استخدام طلمبات أو نظم تحكم. خط السخانات الكهربائية يتم توفيره لأغراض الاحتياط خلال الجو شديد البرودة وخلال أيام ضعف سطوع الشمس، هذا النظام بسيط جداً، ولكن ثبت كفاءته.

يمكن القول أن النظم الغير فعالة (Passive) توفر عدد من المميزات. تلك تحقق وفر كبير في الطاقة ويمكن تضمينها في تصميمات المباني مع تكلفة قليلة أو عدم تكلفة إضافية. كذلك بساطة التصميم، العمل والصيانة تجذب الانتباه. المواد العادية يتم استخدامها في الإنشاء والتي يمكن صيانتها بالقليل من المعلومات الفنية.

النظم الفعالة النشطة : (Active systems)

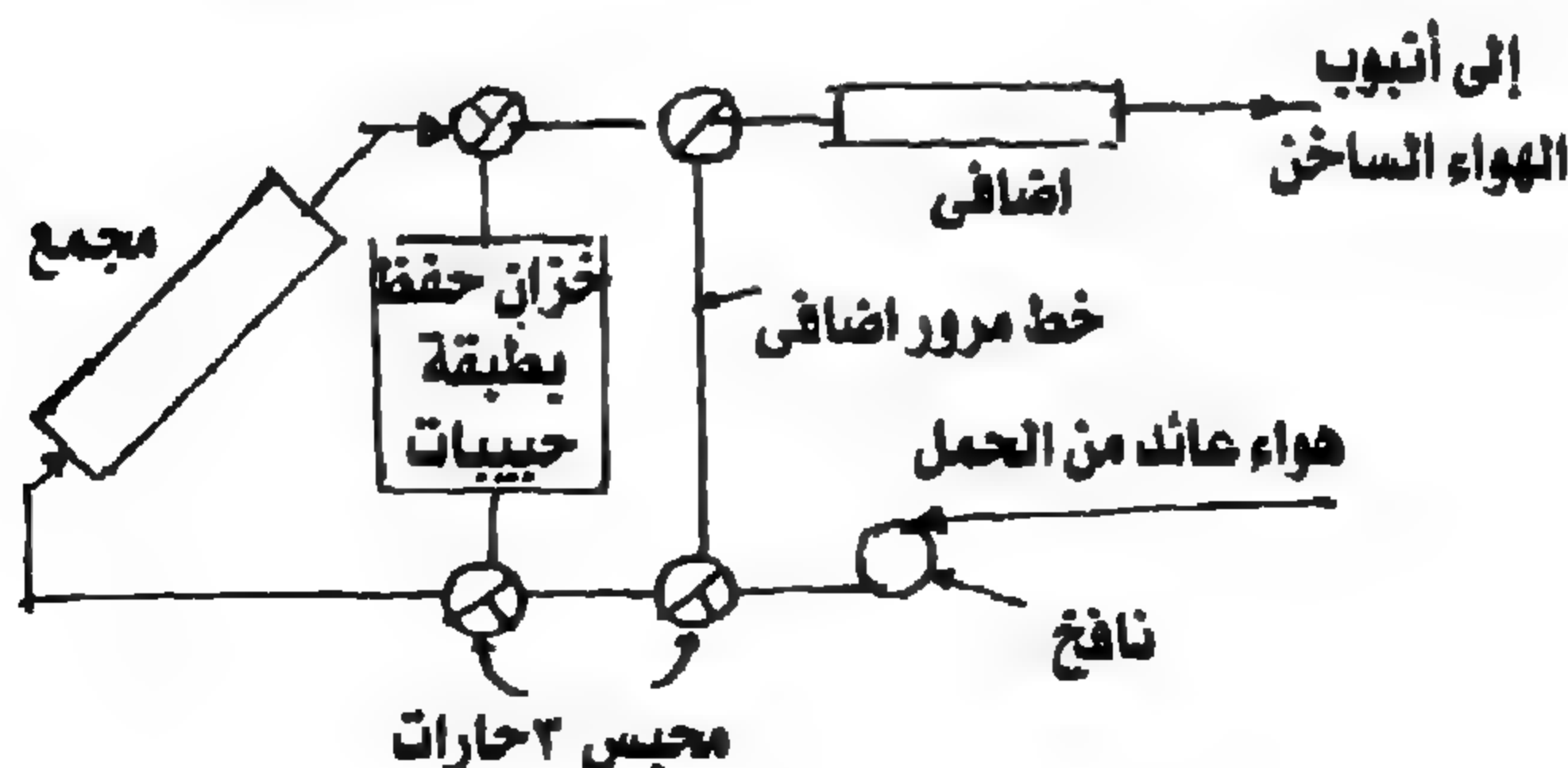
معظم المباني في كل العالم المستخدمة للتسخين الشمسي تستخدم النظام الفعال النشط، حيث تستخدم مجمعات منفردة مع الإشعاع الشمسي، انتقله إلى الهواء أو الماء، وتخزينه في خزانات من الماء أو من أكوام الصخر أو في كليهما. يتم تدوير الهواء والماء بالمراوح والمضخات، والوسائل التقليدية يتم استخدامها لتوزيع الحرارة إلى داخل المساكن.

نظم التسخين الشمسي يمكن أن يعمل طبقاً لأي من الأساليب الآتية:

- 1- عند وفرة الطاقة الشمسية وعدم الحاجة إلى التدفئة فإن الطاقة المكتسبة من المجمع يتم إضافتها إلى التخزين.
- 2- عند توفر الطاقة الشمسية مع الحاجة إلى التدفئة يتم إمداد الحرارة إلى الفضاء من المجمع مباشرة.
- 3- عند توفر الطاقة الشمسية وليست مطلوبة للتدفئة بينما وحدة التخزين يتم تسخينها كاملاً، فإن المجمع الشمسي يمكنه أن يكتسب طاقة ولكن لا توجد أحمال لمقابلتها. في مثل هذه الحالات الطاقة الشمسية لا يمكن استخدامها ولا يمكن تخزينها ويتم التخلص منها.
- 4- عند عدم توفر الطاقة الشمسية ووحدة التخزين قد سبق أن قامت بتخزين الطاقة، فإن وحدة التخزين يمكن استخدامها لإمداد الحرارة إلى الفضاء.
- 5- عند عدم إتاحة الطاقة الشمسية وعدم وفرة الطاقة المخزنة في الخزان، أي أن الطاقة المخزنة قد انخفضت في مثل هذه الحالات فإن المصدر الإضافي للطاقة يتم استخدامه لتوفير الحرارة المطلوبة للمبنى.

النظام الأساسي للهواء الساخن: (Basic Hot air system)

الشكل (3/12) يبين مخطط للنظام الأساسي للتسخين بالهواء الساخن.



شكل (3/12) مخطط لنظام الهواء الساخن

في هذا النظام وسط التخزين (الحصا الصخري) يكون محجوزاً في وحدة التخزين، بينما الهواء هو المائع المستخدم لنقل الطاقة من المجمع إلى التخزين وإلى المبنى. الأساليب المختلفة لعمل نظم التسخين يتم الحصول عليها بمساعدة عمل مختلف المثبّطات (Dampers). مع هذا النظام لا يمكن جمع الأساليب بكل من إضافة الطاقة إلى أو إزالة الطاقة من التخزين في نفس الوقت. مصدر إضافي للتسخين يتم توفيره كذلك. يمكن استخدام التدفئة أو التسخين الإضافي لتعزيز الإمداد بالطاقة للمبنى من المجمع أو التخزين إذا كان الإمداد بالحرارة منه غير كافٍ.

وضع نافخ الهواء (Blower) الموضح في الشكل (3/12) فوق التيار للمجمع والتخزين، ويدفع الهواء خلال تلك للتسخين. في هذه الحالة يحدث القليل من التسرب للهواء الساخن. كذلك يمكن وضع النافخ أسفل التيار للمجمع والتخزين، بحيث أن الضغط في المجمع ليس أعلا من الضغط في المجال المحيط، والذي يمكن أن يكون مفيداً في التحكم في التسرب.

النظام المبني على هذا المفهوم له عدد من المميزات، مقارنة مع تلك المبنية على استخدام الماء كوسط انتقال للحرارة.

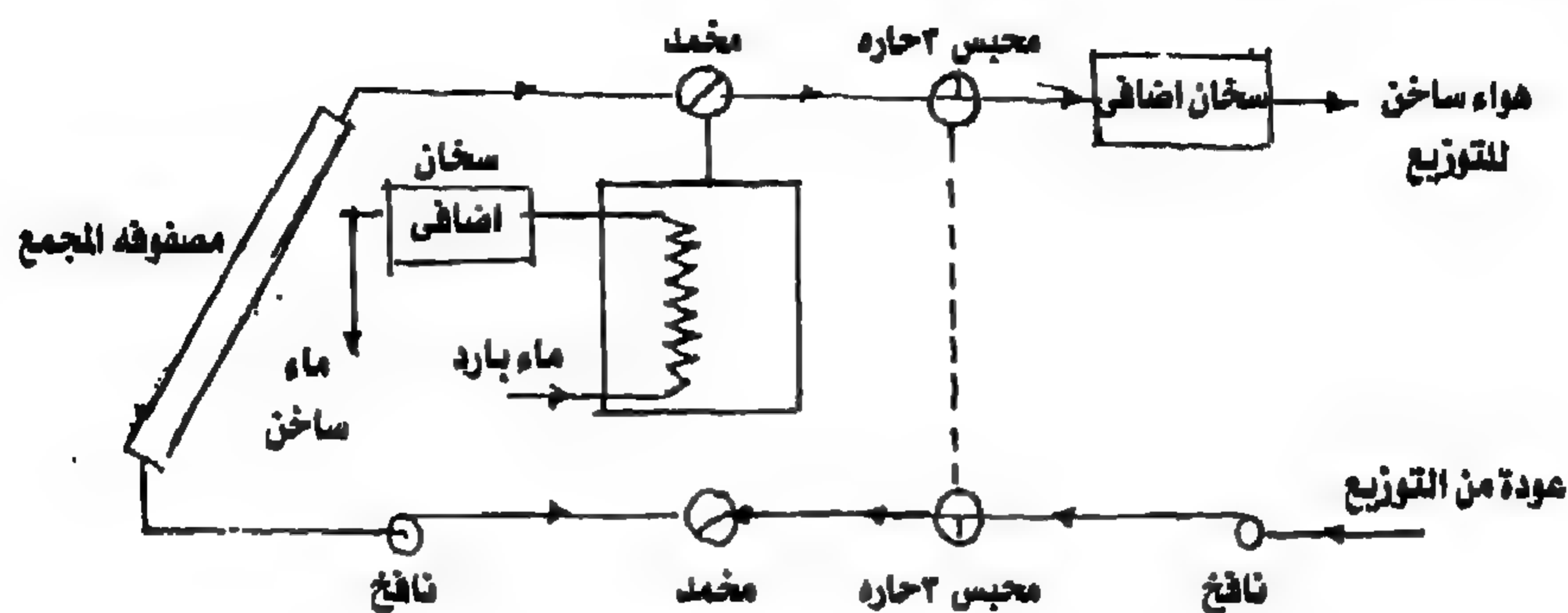
- 1- لا توجد مشكلة للتجمد في المجمعات.
- 2- مشاكل التآكل تكون عند أدناها.
- 3- معدة التحكم التقليدية لتسخين الهواء تكون متاحة مسبقاً ويمكن استخدامها فوراً.
- 4- مشاكل التصميم للتسخين الزائد خلال فترات عدم إزالة الطاقة تكون عند أدناها.
- 5- مائع الاستخدام هو الهواء ونظم تسخين الهواء الساخن تكون ذات الاستخدام العادي.

العيوب هي:

- 1- التكلفة العالية نسبياً للطاقة لضخ الهواء خلال وسط التخزين.
 - 2- أحجام وحدات التخزين ذات حجم كبير نسبياً.
 - 3- صعوبة إضافة مكيفات امتصاص الهواء إلى النظام.
- استخدام الهواء كوسط لنقل وتوزيع الحرارة في نظام التدفئة الفراغية موضح مخططه في الشكل (4/12). عند ضبط المثبّطات (Dampers) فإن الهواء الساخن من المجمع يمكن تقسيمه بين تخزين الصخرة ونظام التوزيع، طبقاً لظروف ومطالب الاستخدام. فمثلاً، عند سطوع الشمس بعد العديد من الأيام شديدة الغيوم يكون المطلوب

التدفئة الشمسية للمباني

استخدام الحرارة المتاحة مباشرة في نظام التوزيع بدلاً من وضعها في التخزين. المحابس ذات الثلاث مسارات (3 Way valves) يمكن استخدامها للتمرير بعيداً عن خزان الحفظ، كما سبق شرحه. إمداد الماء الساخن يمكن توفيره بالمبادل الحراري من الهواء إلى الماء في حوض التخزين.

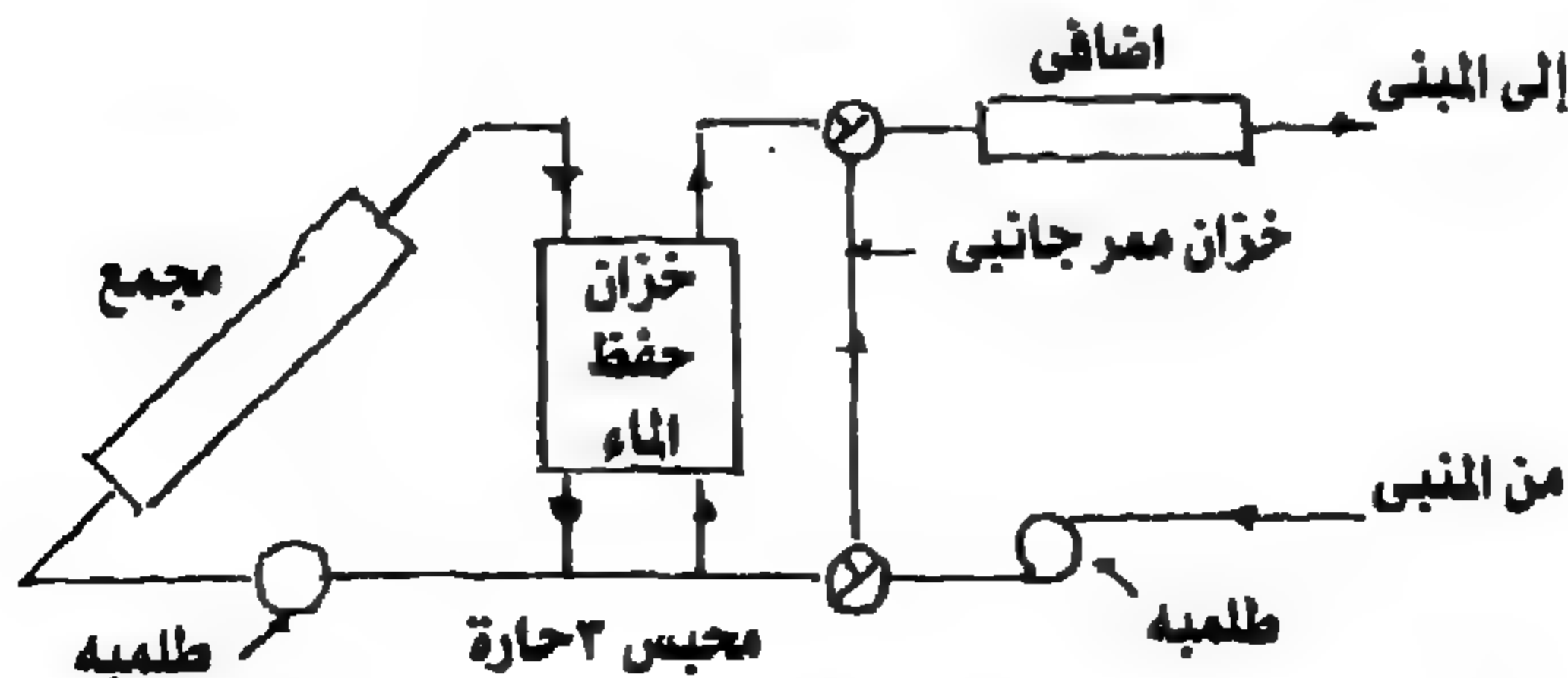


شكل (4/12) نظام التسخين الشمسي بنقل الحرارة بالهواء

النظام الأساسي للماء الساخن : (Basic Hot water system)

الشكل (12/5) هو مخطط للنظام الأساسي للماء الساخن، مع خزان حفظ الماء والتخزين الإضافي للطاقة.

النظام مصمم بما يسمح بالتحكم المستقل للمجموع وجزء التخزين على جانب، وتخزين الحمل الإضافي على الجانب الآخر. الماء الساخن بالطاقة الشمسية يمكن إمداده للتخزين في نفس الوقت مثل إزالة الماء الساخن من التخزين لتدويره نحو الحجرة. خط التمرير الجانبي عبر التخزين يتم توفيره بحيث أنه عند عدم توفر الطاقة الشمسية وشح التخزين فإن الماء الدوار يمر بعيداً عن (By pass) حوض التخزين. التسخين الغير ضروري والغير اقتصادي للتخزين بواسطة المصدر الإضافي يتم الاستغناء عنه عندئذ. لاحظ أن خط مرور جانبي مشابه يمكن توفيره كذلك عبر طبقة التخزين من الحبيبات الزلطية لنظام تسخين الهواء الأساسية.



شكل (5/12) مخطط لنظام الماء الساخن الاساسي

المميزات :

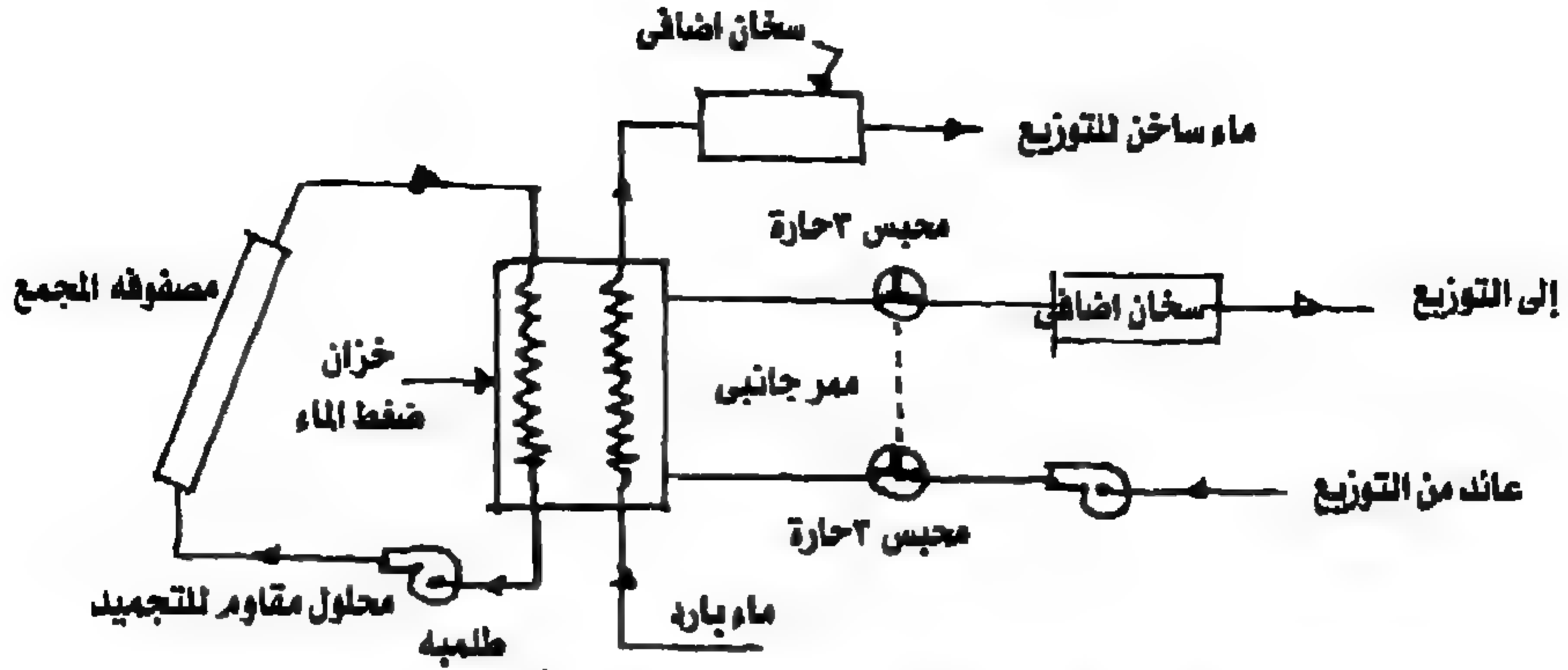
- 1- فى حالة تسخين الماء يستخدم الماء كوسط انتقال حرارى ووسط تخزين، هذا يجنب هبوط درجة الحرارة أثناء انتقال الطاقة إلى التخزين ومن التخزين.
- 2- ويتطلب كذلك حجم تخزين صغير نسبياً.
- 3- يمكن تبنيه بسهولة لإمداد الطاقة إلى مكيفات امتصاص الهواء.
- 4- متطلبات الطاقة منخفضة نسبياً لضخ مائع انتقال الحرارة.

العيوب :

- 1- يوجد احتمال تجمد الماء فى المناخ البارد، يجب تجنبه بالوسائل التى تم تناولها فى سخانات الماء.
- 2- نظام التسخين الشمسى للماء من المحتمل أنه سوف يعمل عند درجات حرارة منخفضة مقارنة بنظم المياه التقليدية وبذا يتطلب مسافة انتقال حرارة إضافية أو وسائل مكافئة للانتقال إلى القيمة.
- 3- سخان الماء يمكن كذلك أن يعمل عند درجات حرارة عالية (وتحديداً فى الربيع والخريف) ويجب توفير الوسائل لإزالة الطاقة وتجنب الغليان وزيادة الضغط.
- 4- تخزين المجمع (Collector storage) يجب تصميمه للتسخين الزائد خلال فترة عدم إزالة الطاقة.
- 5- يجب الحرص نحو تجنب مشاكل التآكل.

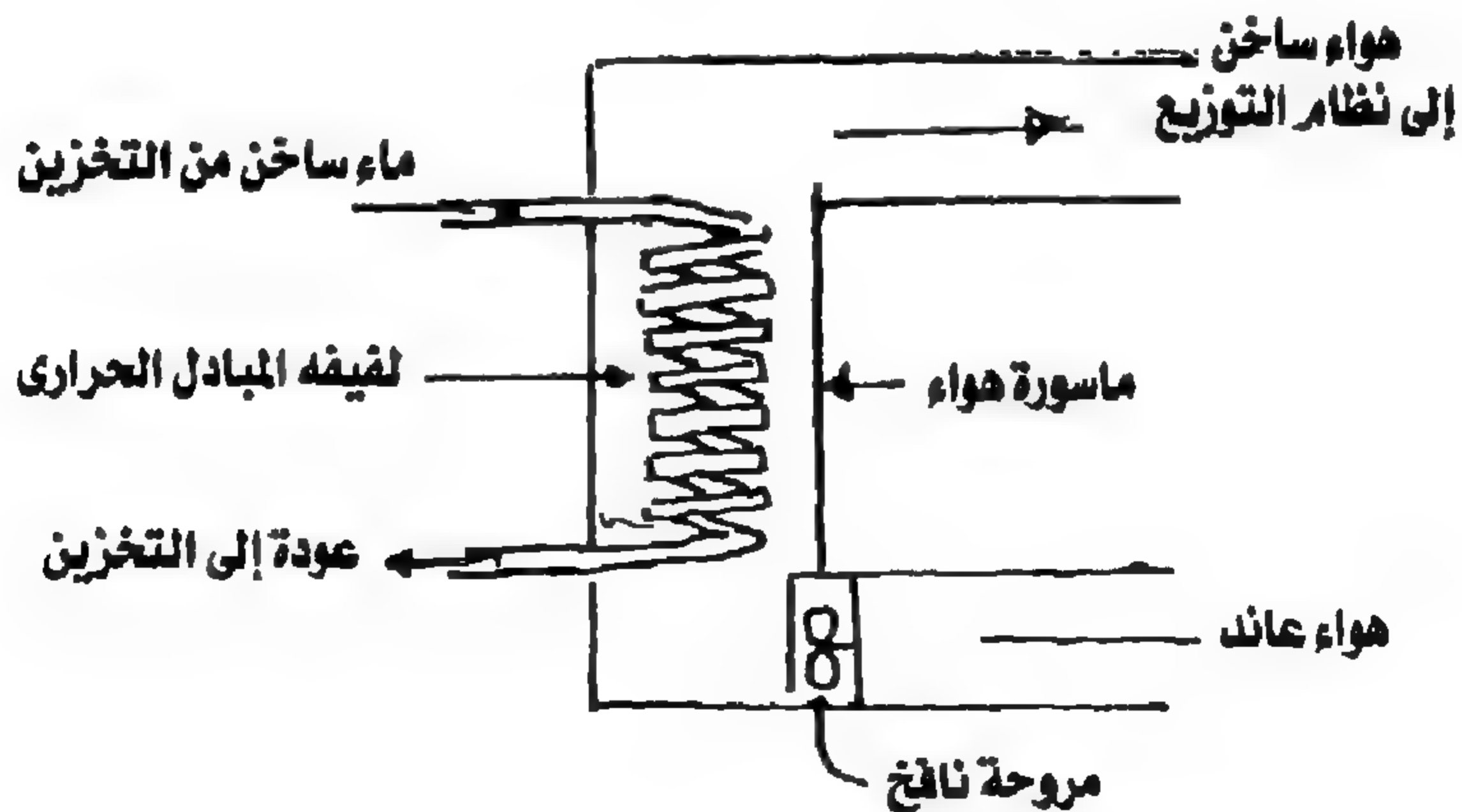
التدفئة الفراغية ونظم تسخين المياه :

تم اقتراح العديد من المفاهيم المختلفة (واختيارها) لاستخدام الطاقة الشمسية فى التدفئة الفراغية للمباني. الخطوط العامة لنظام التدفئة الفعال والنشط بمجمع اللوح المستوى المائل الوجود على سقف المبنى موضح فى الشكل (6/12).



شكل (6/12) نظام التدفئة الفراغية الشمسية والماء الساخن

في هذا النظام، وسط الانتقال الحراري عبارة عن محلول مضاد للتجمد في دائرة مغلقة مع لفة مواسير (Coil) المبادل الحراري في حوض التخزين. الحرارة تنقل إلى الماء في حوض التخزين الموجود عادة في جزء المبنى السفلي (البدر). الماء الذي تم تسخينه بالطاقة الشمسية، من الخزان يمر خلال سخان إضافي، والذي يحضر أيضاً عند نزول درجة حرارة الماء إلى دون مستوى سابق تحديده. للتدفئة الفراغية، الماء يمكن ضخه خلال المشع (الذي يتكون من شبكة من الأنابيب للتدفئة المنزلية Radiator) أو يمكن استخدامه لتسخين الهواء في المبادل الحراري من الماء إلى الهواء كما هو موضح في الشكل (7/12) أو تدوير الماء خلال أجهزة الإشعاع (Radiators) في المبنى لتسخينه ثم العودة إلى خزان الحفظ. نظام الإمداد بالماء الساخن، مع السخان الإضافي الخاص به، يكون مستقلاً عن نظام التدفئة الفراغية.



شكل (7/12) ماء إلى نظام تسخين الهواء

خلال العمل العادي، يتم وضع المحابس ذات الثلاث مسارات لتسمح بالماء الذي تم تسخينه للتدفق من حوض التخزين والسخان الإضافي إلى نظام التوزيع ثم العودة إلى الحوض. إذا كان بعد عدة أيام من الغمام والسحب حدث خفض في تخزين الحرارة، فإن المحابس يتم ضبطها آلياً للتمرير الجانبي لحوض التخزين. بهذه الطريقة التسخين الإضافي لحجم كبير من الماء في الحوض يكون التدوير متنوعاً للمحلول المضاد للتجمد والمبادل الحراري المصاحب يحدث فقط عند إتاحة الطاقة الشمسية. إذا كانت درجة الحرارة في مجمع المواسير عند قمة المجمع الحراري سوف تهبط إلى أدنى تلك عند قاع الخزان، فإن الطلمبة (التي عند القاع الأيسر للشكل (6/12) سوف يتم إيقافها آلياً).

عندما يكون الماء، بخلاف المضاد للتجمد، يمكن أن يعمل كوسط للانتقال الحراري، فإن الماء الساخن بالطاقة الشمسية من المجمع يمكن أن يذهب مباشرة إلى التخزين. الموقف عندئذ يكون مشابهاً لذلك السابق وصفة للنظام المستخدم للهواء كوسط انتقال حراري. الماء الذي تم تسخينه يمكن ضخه مباشرة إلى نظام التوزيع، مع المرور الجانبي بعيداً عن حوض التخزين، إذا كان ذلك ضرورياً.

في النظام المولد الهجين (Hybrid system) يستفاد بخاصية الانتقال الحراري الجيدة للماء (أو محلول مضاد للتجمد) وتأثير الهواء للتدفئة الفراغية. المحلول المضاد للتجمد يتم تدويره خلال خزان صغير نسبياً للفيته مواسير المبادل الحراري المحاطة بالخزان الضخم للقطع الحجرية الهواء للتوزيع في الفضاء الحي يتم عندئذ تسخينه بالمرور خلال الخزان الضخم.

بعض التفاصيل الإضافية للتسخين الشمسي الفعال النشط ونظم الماء الساخن:

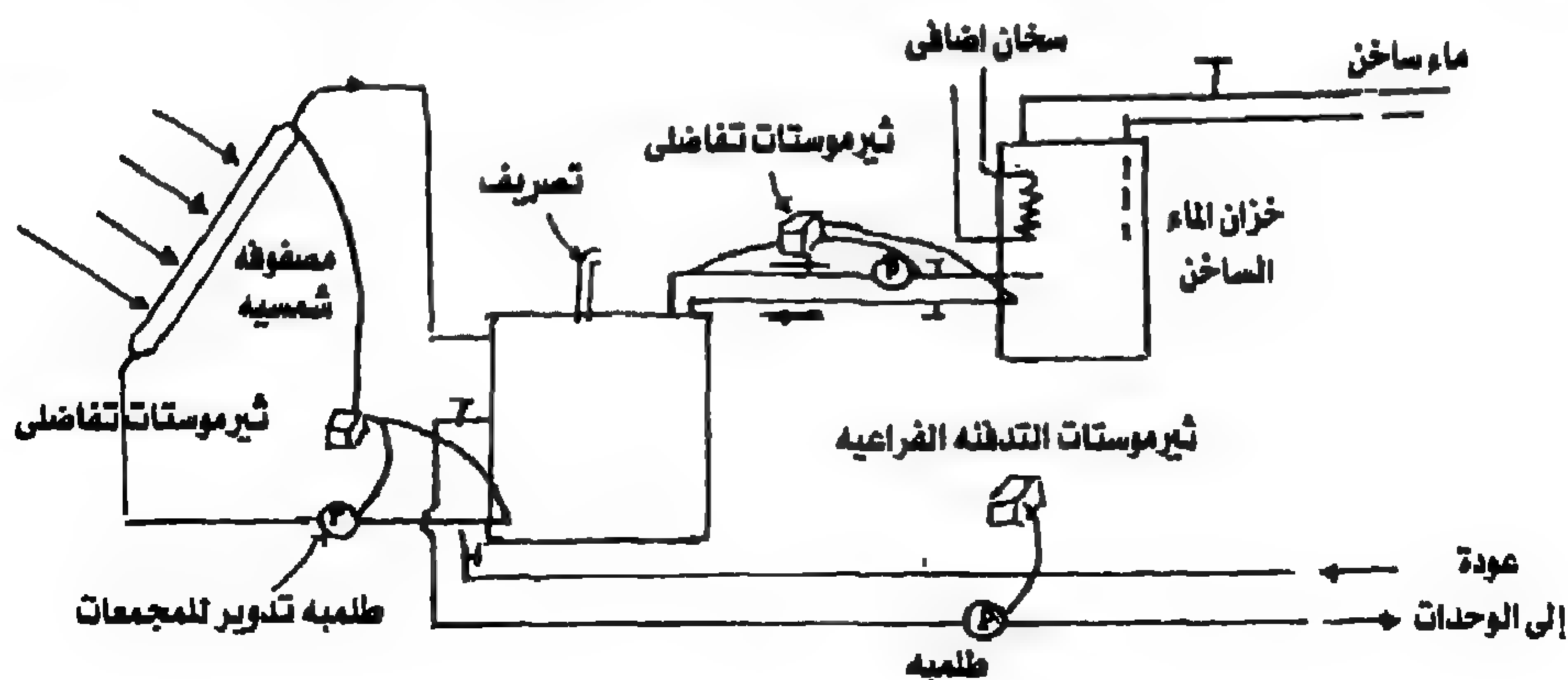
أ- نظام الماء الساخن:

تجهيزات التحكم اللازمة للنظام هي ثيرموستات تفاضلي بالحساس (Sensor) عند قمة مجموعة المجمع الشمسي وحساس آخر يوجد عند قاع حوض التخزين الحراري، وثيرموستات تفاضلي آخر مع الحساس يوضع عند قمة حوض التخزين الحراري وعندما قاع خزان الماء الساخن، والثيرموستات الثالث للتدفئة الفضائية. عندما تكون كثافة الإشعاع الشمسي على المجمع الشمسي كافية لتسخين مكان ماص المجمع إلى درجة حرارة أعلا عن الحساس عند قاع حوض التخزين الحراري بالفتح التفاضلي (Turn on Differential)، فإن الثيرموستات التفاضلي يتم فتحة على طلمبة التدوير الرئيسية. هذا يعمل على تدوير الماء من قاع حوض التخزين الحراري خلال المجمعات الشمسية. الماء الساخن من أعلا المجمعات الشمسية يتصرف نحو قمة

التدفئة الشمسية للمباني

حوض التخزين الحراري فوق منسوب المياه في ذلك الحوض. عندما يكون الفرق بين درجة حرارة الحساس عند القمة المصفوفة المجمع الشمسي ودرجة حرارة الحساس عند قاع حوض التخزين الحراري يهبط إلى أقل من القفل التفصيلي (Shut off Differential)، فإن طلبية التدوير الرئيسية يتم توقفها، بما يسبب الصرف للماء في مصفوفة المجمع الشمسي وعودته إلى حوض التخزين الحراري، الذي يكون عند ارتفاع منخفض. الماسورة النازلة (Down comer) من قمة مصفوفة المجمع الشمسي إلى حوض التخزين الحراري يجب أن يكون له ميل إلى أسفل عند كل النقط ليسمح للهواء من الجزء العلوي لحوض التخزين الحراري ليدخل الماسورة النازلة بدون أن يصبح محتجزاً. لذلك وفي خلال دقائق قليلة بعد توقف طلبية التدوير الرئيسية، فإن الهواء من قمة حوض التخزين الحراري يدخل مصفوفة المجمع الشمسي مع صرف المياه من مصفوفة المجمع الشمسي والعودة خلال طلبية التدوير إلى قاع حوض التخزين الحراري. بهذه الطريقة فإن مائع الانتقال الحراري يتم إزالته من مصفوفة المجمع بينما لا يزال ساخن نسبياً. بالإضافة إلى أن الحماية ضد التجمد قد تأكدت.

كما هو موضح في الشكل (8/12) إذا كان ثرموستات تسخين الفضاء تحول إلى التسخين، فإن طلبية تسخين الفضاء تبدأ في العمل، حيث يحدث تدوير للماء الساخن من الجزء العلوي لحوض التخزين الحراري إلى وحدات تسخين الفضاء، والتي يمكن أن تتكون من مشعات (Radiators) الماء الساخن، ووحدات لوح القاعدة أو وحدة لفة المواسير المزودة بزعانف (Finned coil) في الفرن التقليدي. الماء الأكثر برودة من وحدة تسخين الفضاء يتم عودته إلى قاع حوض التخزين الحراري و/أو المنظومة الشمسية. إذا كانت درجة الحرارة في الجزء العلوي لحوض التخزين الحراري منخفضة جداً لتوفير فضاء التسخين الكافي، فإنه يمكن استخدام مصدر حرارة إضافي.



شكل (8/12) تجميع وتوزيع الحرارة بنظام تسخين الماء

إذا كانت شدة الإشعاع الشمسي لمصفوفة المجمع غير كافية لعمل المجمع الشمسي، فإن طلمبة التدوير الرئيسية يتم إيقافها. إذا كانت درجة حرارة الماء الذي تم تسخينه بالطاقة الشمسية في حوض التخزين الحراري مرتفعة بالقدر الكافي، فإن تدفئة الفضاء يمكن توفيره من التخزين. في هذه الحالة تيرموستات الحجر طالب بتدفئة الفضاء. طلمبة تدوير تدفئة الفراغ تضخ الماء من الجزء العلوي لحوض التخزين الحراري خلال وحدات التسخين في المبنى، والماء الأكثر برودة من وحدات التسخين يعود إلى الجزء السفلي لحوض التخزين الحراري. بهذه الطريقة فإن الطاقة الحرارية يتم انتقالها من حوض التخزين الحراري إلى الفراغ المكيف. هذه هي الطريقة العادية لتدفئة الفضاء ليلاً. النظم الفعالة النشطة لها ميزة تفوق النظم الغير فعالة والغير نشطة فهي أنها تقدم تحكم أكبر كثيراً من النظم الغير نشطة حيث تقدم تحكم كبير في الطاقة الحرارية، تضاف الحرارة إلى الفضاء المكيف طبقاً للكمية المطلوبة لاستمرار درجة حرارة داخلية ثابتة.

خلال النهار، كمية الطاقة الحرارية المتاحة من مصفوفة المجمع قد تزيد عن متطلبات التدفئة الفراغية، حيث في هذه الحالة يقوم تيرموستات التدفئة الفراغية بإيقاف طلمبة تدوير التدفئة الفراغية بينما طلمبة التدوير الرئيسية تستمر في تدوير المياه من قاع حوض التخزين الحراري خلال مصفوفة المجمع الشمسي ثم العودة إلى حوض التخزين الحراري.

لتشغيل هذا النظام، فإن طلمبة التدوير الرئيسية يجب أن تكون قادرة على بناء ضغط يساوي فرق الارتفاع بين منسوب الماء في حوض التخزين الحراري وأعلى نقطة على مصفوفة المجمع الشمسي. بهذه الطريقة يمكننا الحصول على التدفئة الفراغية بينما تعمل المجمعات الشمسية والتدفئة الفراغية حيث لا تعمل المجمعات، وجمع وتخزين الطاقة الشمسية حيث لا توجد الحاجة إلى التدفئة الفراغية. الماء الساخن للاستخدام المنزلي أو لاستخدام آخر يمكن تسخينه في أي وقت عندما يكون الماء في حوض التخزين الحراري ساخناً. في الاستخدام المنزلي أو التجاري حيث تستخدم المياه الساخنة في الغسيل، الطهي واستخدامات أخرى خاصة بالإنسان، عادة لا يكون متاح استخدام الماء مباشرة من حوض التخزين الحراري. لذلك، فإنه يتم تسخين الماء بضخ المياه من حوض التخزين الحراري خلال المبادل الحراري في خزان الماء الساخن. طلمبة التدوير تعمل بواسطة التيرموستات التفاضلي.

ب- نظم مجمعات تسخين الهواء: Air Heating collector systems

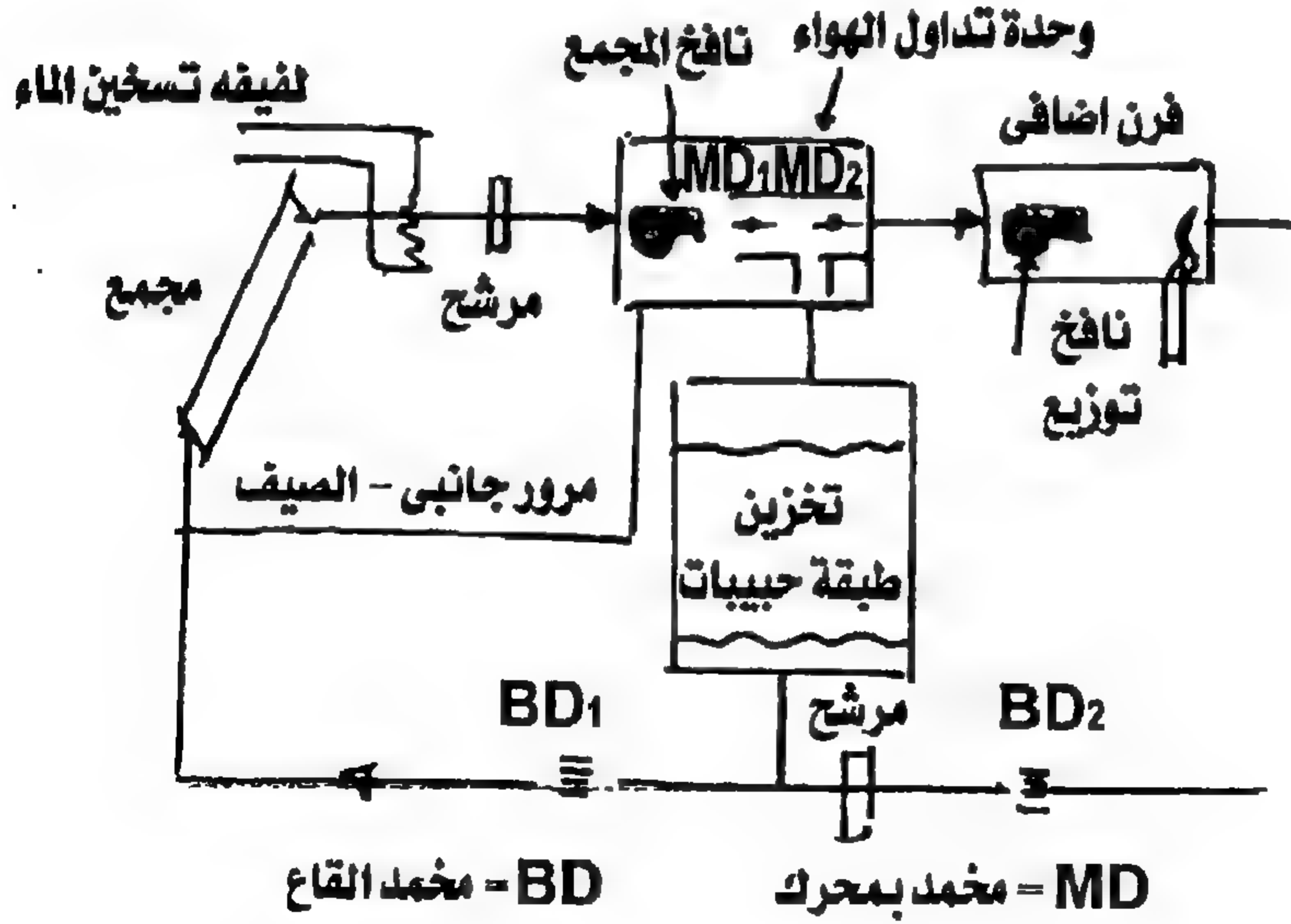
نظم التسخين الشمسي يمكنها كذلك استخدام مجمعات تسخين مع تخزين حراري في صندوق من الأحجار (حبيبات زلطية). معدل تدفق الهواء خلال المجمعات النموذجي هو 0.6 متر مكعب، الدقيقة - متر مربع من فتحة المجمع. خلال النهار

الهواء الساخن من المجمعات الشمسية يمكن دفعه خلال مسارات مباشرة نحو الفضاء المكيف بدون المبادلات الحرارية اللازمة للنظم السائلة. حيث أن الهواء له حوالى 25% فقط من الطاقة الحرارية للماء، فإن ارتفاع درجة الحرارة للهواء المتدفق خلال المجمع يكون عموماً أكبر في حالة الأساس من الهواء عنه في حالة نظم المياه الشمسية. ولكن، نظراً لأن الهواء الداخل يتم سحبه مباشرة من المنزل، فإنه درجة حرارته تكون أقل في المتوسط مقارنة بدرجة حرارة الماء من حوض التخزين الحرارى نظم التسخين بالمائع/ بالماء.

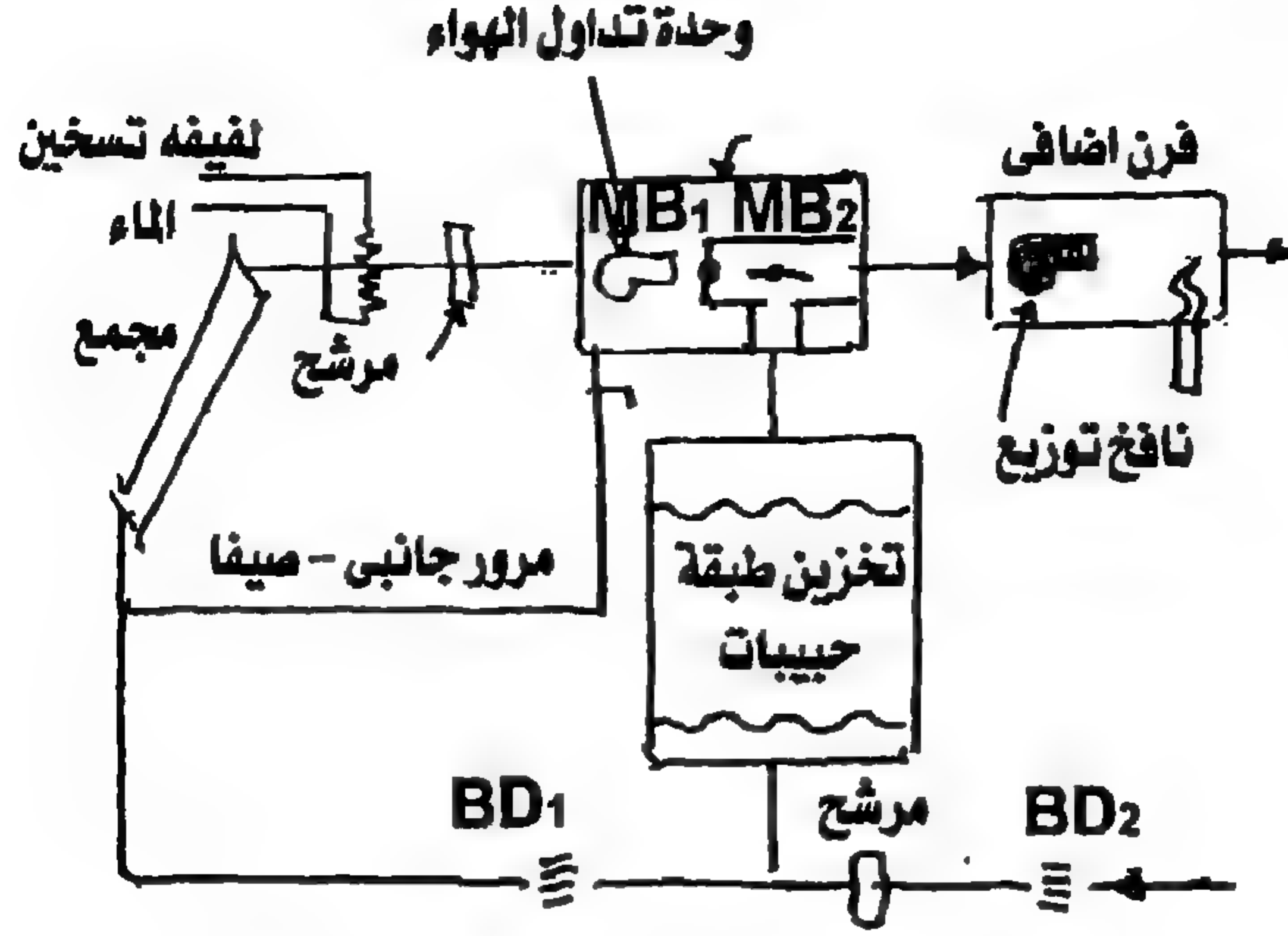
الوعاء المحتوى على قطع زلطية متجانسة الحجم (النموذجى بقطر 5 - 10 سم) يعمل كنظام تخزين حرارى ثانوى جيد لنظام التسخين الشمسى المبني على استخدام الهواء. مع مرور الهواء الساخن من المجمعات إلى أسفل خلال القطع الزلطية، فإن القطع الزلطية العليا تصبح ساخنة تقريباً مثل الهواء من المجمعات، بينما الأحجار الزلطية القريبة من القاع تظل أكثر برودة. التصنيف الحرارى الناتج خلال الوعاء يسمح بإزالة الحرارة عند نفس درجة الحرارة تقريباً التى عندها تم تخزينها. فمثلاً، إذا كانت طبقة الحبيبات الزلطية كانت أولاً عند درجة حرارة متجانسة 20°C ، والهواء الداخل من أعلا عند 60°C ، بينما الهواء الذى يتم صرفه من القاع يكون عند 20°C . لحين الوصول إلى طاقة التخزين الهواء للطبقة الزلطية فإن درجة حرارة الهواء التى تعود إلى المجمع تكون هى نفسها كما لو كانت عائدة من المنزل.

يتم صرف الحرارة من وحدة التخزين بانعكاس تدفق الهواء، بحيث أن الهواء البارد اللازم تسخينه يدخل قاع الحيز ويتدفق إلى أعلا خلال الوعاء. فمثلاً، إذا كان الهواء داخلاً عند القاع عند درجة حرارة 20°C وأن الجزء العلوى لطبقة القطع الزلطية تم تسخينه إلى 60°C تقريباً، عندئذ ومع مرور الهواء خلال المنطقة الأكثر سخونة من الطبقة فإنه يتم تسخينه إلى درجة حرارة أقل قليلاً من درجة حرارة القطع الزلطية الساخن. لذلك، فإن درجة حرارة الهواء الموجود فى الطبقة الزلطية تكون قريبة من 60°C . مع استمرار دورة الصرف، فإن المنطقة الانتقالية بين القطع الزلطية الأكثر سخونة والأكثر برودة تتحرك إلى أعلا، بحيث أن عمق المنطقة الساخنة للقطع الزلطية يقل. وفى حالة نفاذ الطاقة الحرارية المخزنة فى الطبقة الزلطية فإن كل الطبقة الزلطية تصبح عند 20°C . النموذج المثالى للطبقة الزلطية ذات التقسيم العمودى للتخزين الحرارى تحتوى حوالى 24 كيلو جرام من الأحجار الزلطية لكل 0.093 متر مربع من فتحه المجمع أو 250 كيلو جرام من الأحجار الزلطية لكل متر مربع من فتحه المجمع الشمسى (Collector Aperature).

الشكل (9/12) يبين نموذج لنظام التسخين الشمسي للهواء بالتسخين المباشر من المجمعات الشمسية. في هذه الحالة توجد حاجة للتدفئة خلال المبنى خلال الوقت حيث كثافة الإشعاع الشمسي على المجمعات تكون كافية لتحقيق متطلبات التسخين والتدفئة هذه. النظام يحتوى عدد اثنين من أجهزة نفخ الهواء (Blower)، وهما نفاخ الجامع الشمسي ونفاخ الموزع، والذين هم مناظرين لطلبات المجمع والموزع في نظم المياه. في طريقة التسخين المباشرة، يعمل كلا من النافخين مع دفع الهواء من المبنى مباشرة إلى المجمعات الشمسية والهواء الساخن من المجمعات يتم تدويره إلى الفرن للتوزيع. إذا كان الهواء من المجمعات الشمسية ساخناً بما يكفي لتدفئة المبنى، فإن مصدر الحرارة الإضافي يظل مغلقاً. في طريقة العمل هذه تكون طبقة التخزين الزلطية ليست مشحونة أو غير مشحونة. نظام التسخين الهوائي يستخدم مثبطات تعمل بالمحرك (Motorized dampers) لتوجيه تدفق الهواء، كما تعمل النظم المائية في استخدام المحابس. في طريقة التسخين المباشرة يتم فتح كلا المثبطين العاملين بمحرك في وحدة تداول الهواء وذلك للسماح لتدفق الهواء نحو الفرن للتوزيع. يمكن كذلك تسخين الماء بهذا النظام للتوزيع بواسطة وحدة لفات المواسير ذات الزعانف (Finned coil Unit) في ماسورة مخرج المجمع.



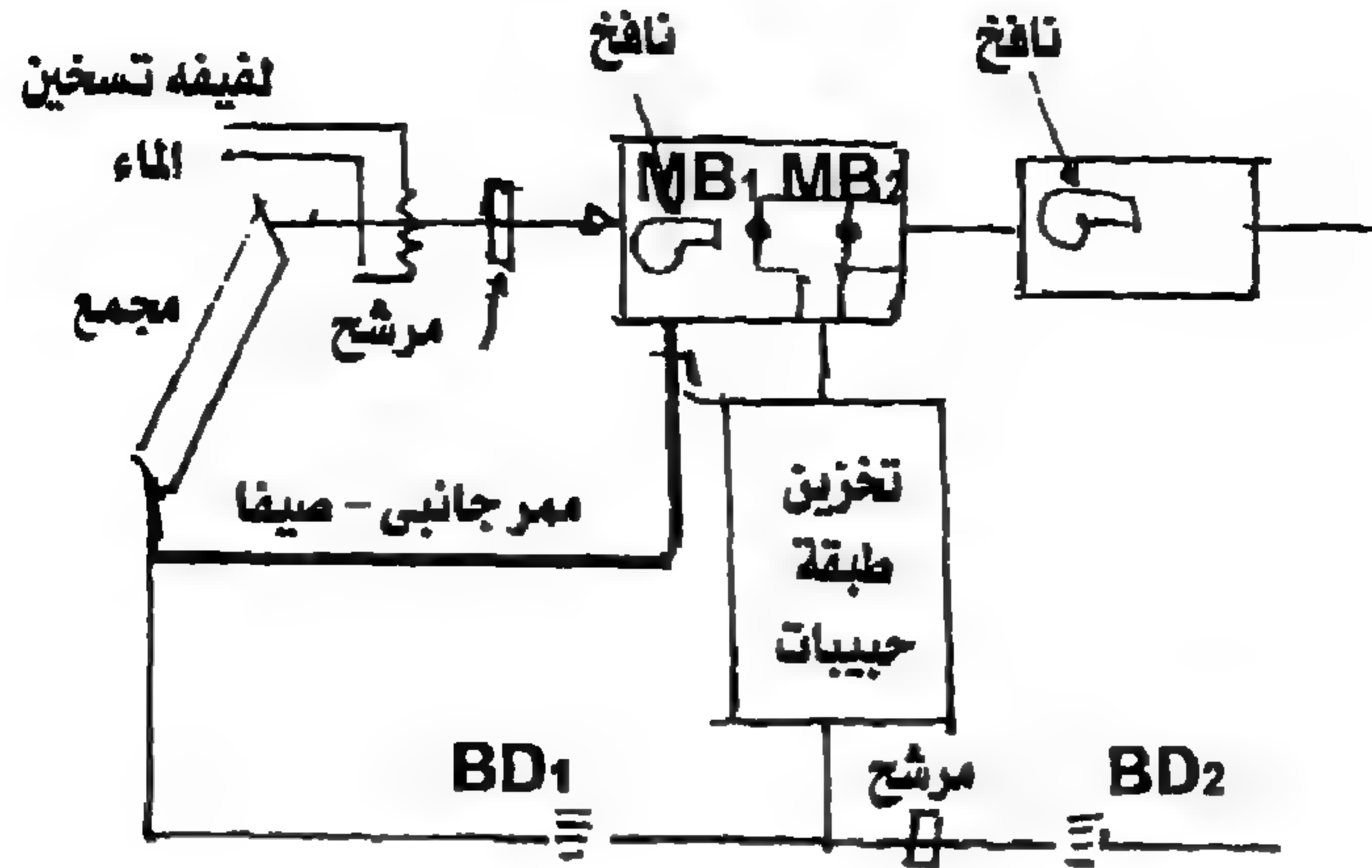
شكل (9/12) التسخين مباشرة من المجمع بنظام التسخين الشمسي للهواء



شكل (11/12) التسخين من التخزين بنظام
التسخين الشمسي للهواء

هذا الشكل يوضح نظام عمل التسخين الشمسي بالهواء حيث تتم تدفئة المبنى من التخزين. هذه العملية سوف تستمر لحين قرب نفاذ الطاقة الحرارية المخزنة، حيث في ذلك الوقت يمكن تشغيل مصدر التدفئة الإضافي لاستمرار تدفئة المبنى. أجهزة السنفخ والتثبيط تظل في وضعها السابق للتسخين الإضافي، لذلك مهما كانت طاقة حرارية مفيدة في الطبقة الزلطية يمكن الاستمرار في استخلاصها مع تسخين الفرن للهواء من الطبقة الزلطية إلى أي درجة حرارة مطلوبة للتدفئة الفراغية المؤثرة للمبنى.

إذا كانت وحدة التخزين الحراري مشبعة ولا توجد حاجة للحرارة، فإنه يتم الاستمرار في جمع الحرارة بانتظام واستخدامها فقط في تسخين المياه الشكل (12/12) سفلى. هذا النظام يعمل بطريقة تسخين الماء المنزلي في الصيف حيث لا توجد حاجة للتدفئة الفراغية.



شكل (12/12) تسخين الماء للنوزيع بواسطة نظام التسخين الشمسي للهواء، عادة العمل في الصيف

بعض الأمثلة للمنازل الشمسية :

- الآتي المنازل الشمسية الهامة في العالم المستخدمة للنظام النشط:
- 1- استخدام المجمعات بتسخين الهواء التي تواجه الجنوب العمودية.
- 2- تصميم نظام تسخين الهواء باستخدام مجمعات اللوح الزجاجي المتطابقة ومبادلات من الصخر لتخزين الطاقة.
- 3- نظام تسخين الماء باستخدام خزانات حفظ الماء ذات طاقة كبيرة حيث تحاط الخزانات بطبقة صخرية لإضافة التخزين وكذلك كمساحة انتقال حراري.
- 4- تم تصميم منزل شمسي في نيويورك باستخدام الخلايا الفوتوفولتية كجزء من سطح امتصاص الطاقة في الأجزاء لدرجة الحرارة المنخفضة لسخانات الهواء باللوح المستوي.

لتوضيح نظم التسخين بالهواء أو بالماء الآتي مثال للمنزلين:

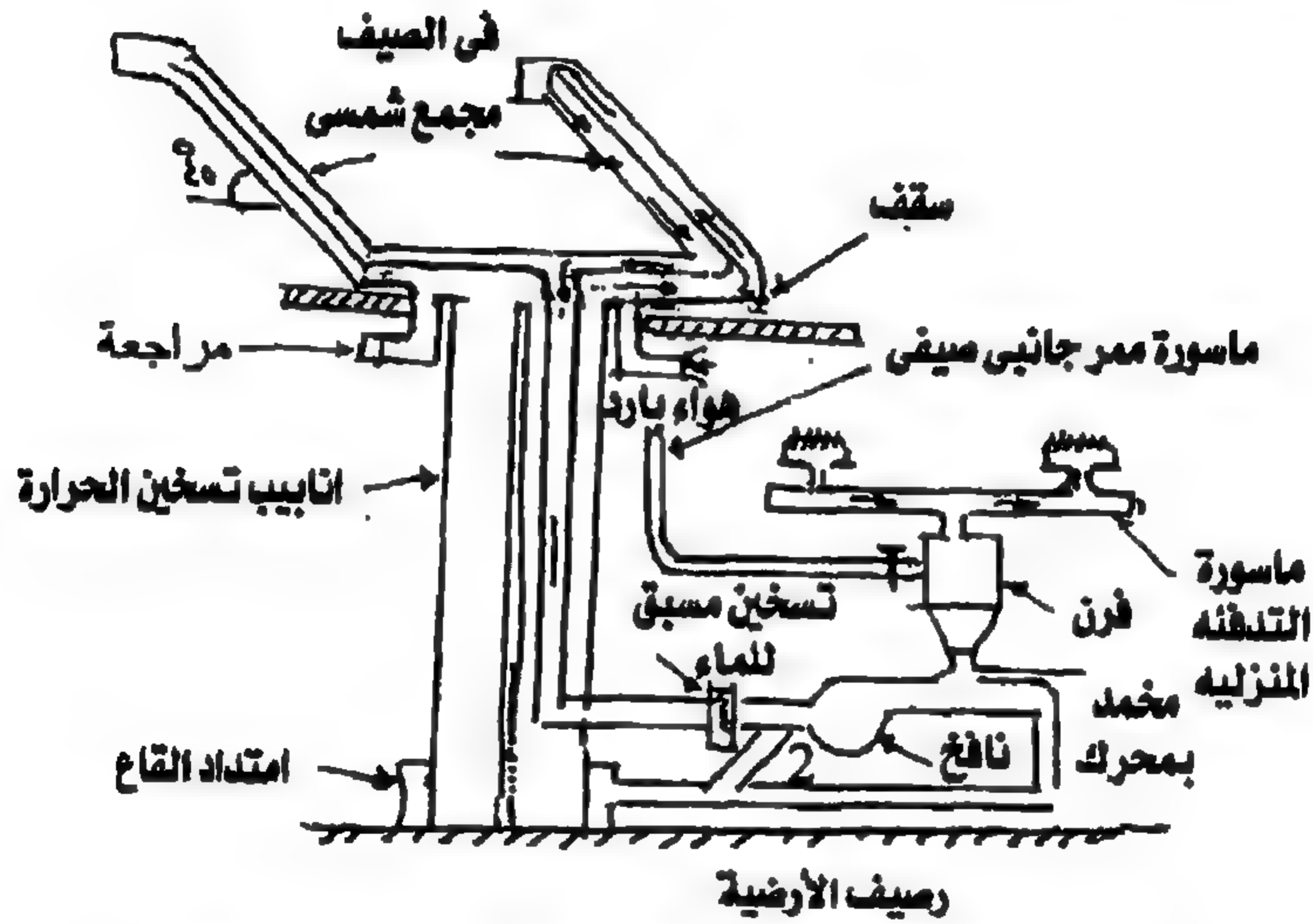
1- منزل الشمس في دنفر: (Denver solar House)

منزل دنفر تم بناؤه من عام 1959 إلى عام 1960 بواسطة (Dr. G. Lof) وهو واحد من الرواد في تحريك الطاقة الشمسية. المنزل استخدم سخان الهواء، وحدة زلطية للتخزين وفرن غاز طبيعي كمصدر إضافي. المنزل له مساحة أرضية حوالي 195 متر مربع ومساحة بدروم سفلى 102 متر مربع. حمل التصميم الحراري تم حسابه ليكون

التدفئة الشمسية للمباني

27350 كيلو كالورى فى الساعة (114500 كيلو جول/الساعة) عند درجة الحرارة المحيطة -18°م وسرعة رياح 3.9 متر فى الثانية.

هذا المنزل الشكل (13/12) استخدم اثنين من السخانات الطويلة، مركبين خلال حاجز السقف فوق السقف. السخانات تستخدم مبدأ لوح الزجاج المتطابق، الذى اخترعه د. لوف خلال الحرب العالمية الثانية. المجمعات كانت فى صفين، مائلة إلى أعلا من السقف المستوى بزاوية 45° . المساحة الكلية للمجمع الشمسى = 55.7 متر مربع وبعد السماح لإطارات المجمع فإن مساحة المجمع المؤثرة = 49.2 متر مربع. المجمع يستخدم ألواح الزجاج، حيث الجزء العلوى شفاف والجزء السفلى مطلى باللون الأسود. تم الحصول على درجة حرارة مرتفعة حتى 76.7°م .



شكل (13/12) مخطط لنظام التدفئة المنزلية بالهواء

وسط التخزين هو 10.64 كيلو جرام من الصخر ذو حجم متوسط بقطر 3سم وحرارة نوعية 0.75 كجرام/كجرام $^{\circ}\text{م}$. ومحتوى فى أنبوبين بالشكل الأسطوانى كل بقطر (0.91 متر، وارتفاع 5.5 متر) حيث خلالها يتم نفخ الهواء الساخن. ماسورة نقل الهواء (Duct) تؤدي إلى أسفل خلال أحد أنابيب التخزين كوسيلة للاقتراب بين جسر المجمع على السقف والمعدة فى البدروم.

يتم توفير بعض الطاقة الشمسية لخدمة تسخين الماء الساخن بالمبادل الحرارى الهواء - الماء الذى يعمل كسخان مسبق (Preheater). ميزان الحرارة المطلوبة للماء الساخن يتم عندئذ توفيرها فى السخان التقليدى باستخدام الوقود. المكونات الرئيسية

الأخرى موضحة في المخطط، مثل النافخ، الفرن، المثبطات لتسجيل الهواء البارد والساخن وهكذا.

الإشعاع الشمسي يتم أحساسة بواسطة ترمومتر المقاومة المركب على لوح غفل أبيض (Blank plate) فوق وموازي لأحد المجمعات والذي يكون مصمما ليكون له استجابة حرارية تشبه لتلك اللوح الأسود في المجمع. ترمومتر مقاومة آخر يتم وضعه في المخرج (أي القمة) لوحات التخزين، ويتم تشغيل أو إيقاف الهواء نحو المجمع بواسطة الاكتشاف لفرق درجة الحرارة المناسبة بين عنصرين المقاومة.

الثيرموستات في الحجرة، الذي تستدعي الحرارة في مثبطات التحكم المنزلي التي توجه الهواء من المجمع أو التخزين إلى المنزل، في حالة فترة زمنية مدتها عشرة دقائق من تدفق الهواء من المجمع أو التخزين، ولم يتم مقابلة الحالة الذي تم استدعاءها بواسطة الثيرموستات فإن الفرن يتم توقفه. وعند عمل المجمعات، فإن الهواء الساخن يدخل المبنى عند الحاجة، بخلاف ذلك يذهب إلى التخزين.

في هذا النظام الثلاث أنواع من العمل تستخدم كالاتي:

1- عندما تكون الطاقة الشمسية مرتفعة بما يكفي للتخزين والمنزل لا يحتاج إليها، فإن أجهزة التثبيت (1)، (2) يتم فتحها، يتم قفل رقم (2)، (3). تدفق الهواء يكون من المجمع إلى السخان المسبق للماء، إلى النافخ إلى وحدة التخزين والعودة إلى المجمع.

2- عند حاجة المنزل إلى التدفئة ويمكن ملاءمتها مباشرة فإن مثبطات الطاقة الشمسية رقم (1) و رقم (3) تكون مفتوحة، رقم (2)، رقم (4) تكون مغلقة. تدفق الهواء من المجمع إلى السخان المسبق للهواء إلى النافخ، إلى الفرن إلى مسجلات الهواء الساخن، خلال المبنى إلى الهواء البارد تعود إلى المجمع. إذا كانت الطاقة الشمسية غير كافية لتلائم متطلبات المنزل، فإنه يمكن إمداد بعض الحرارة من الفرن.

3- المثبطات (Dampers) رقم (2)، رقم (3) يكونوا مفتوحين، ورقم (1) ورقم (4) يكونوا مقفولين، إذا كان المنزل ليتم تدفئته من التخزين، والطاقة الشمسية ليست متاحة، تدفق الهواء يكون من الحجرة إلى مسجلات الهواء الساخن خلال عودة الهواء البارد، التخزين، النافخ والفرن.

4- عند عدم وفرة الطاقة الشمسية والتخزين، فإن العملية سوف تكون كما في الحالة (3). للتدفئة الإضافية، بالفرن.

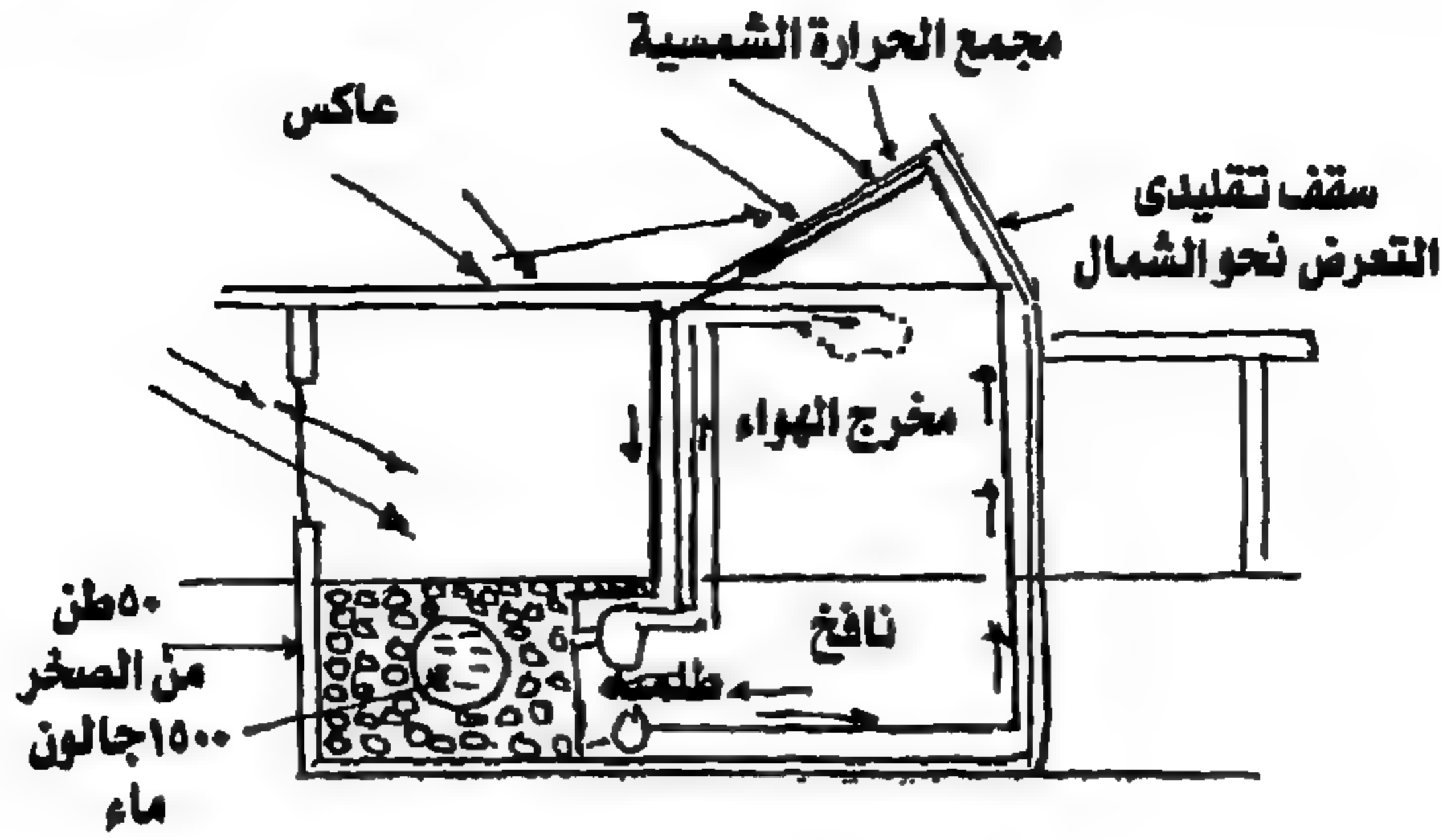
نتائج قياس الأداء لسنتين مختلفة تم تسجيلها بواسطة العالم (LOF). تم تعريض كل المنشأ لطريقة اختبار حذرة خلال شتاء 1974 - 1975، وقد وجد أنه يوجد قليل من التلف في أداء النظام رغم حقيقة أنه استمر في الاستخدام لمدة حوالي 17 عام. نظام طومسون للتسخين الشمسي :

Thomson Solaris solar Heating system:

من بين نظم التدفئة الشمسية الأكثر نجاحاً بالإضافة إلى بساطتها هو ذلك النظام الذي ابتدعه دكتور هارمي طومسون في واشنطن. نظامه الشمسي استخدم جامع مفتوح التدفق (Open flow collector) المصنوع من ألواح الألومنيوم المتعرجة المطلية بطلاء أسود مانع لנفاذ الماء. استخدام غطاء زجاجي واحد، والمجمع الشمسي مركب مباشرة على سقف معزول ومانع لנفاذ المياه مع ميل حاد، ومواجهاً الجنوب. التخزين الأولى هو خزان ماء سعة 1600 جالون موجود في بدروم المنزل وهذا محاط بحوالي 50 طن من الحجر، الذي يوفر كلاً من التخزين الإضافي وكمية كبيرة من سطح الانتقال الحراري. الحجر يتم تسخينه بواسطة السطح الخارجي للخزان والذي بدوره يتم تسخينه بالماء الذي تم تسخينه بالطاقة الشمسية. يوجد ثيرموستات تفاضلي واحد مع الحساس (Sensor) مثبت على سطح المجمع والآخر في خزان الماء حيث يوجه الطلمبة للبدء متى كانت الشمس قد سخنت المجمع لحين درجة حرارة أعلا من درجة حرارة الماء في الخزان.

يتم ضخ الماء إلى أنبوب التوزيع عند قمة السقف ويتدفق إلى أسفل بفعل الجاذبية خلال أحواض المجمع الشمسي. النظام مأمون الاستخدام نظراً لأن الماء يتصرف من المجمع عند توقف الطلمبة لأي سبب. عند استخدام الهواء كوسط للانتقال الحراري ويتم تدويره بواسطة ناfox صغير. للعمل في فصل الصيف، يستخدم نظام ضغط تبريد صغير لتبريد المياه في الخزان. الضاغط يعمل فقط خلال فترات عدم الذروة (Off - Peax)، والهواء البارد يتم تدويره خلال المنزل خلال ساعات النهار، عندما يكون تكييف الهواء مطلوباً.

أول منزل من منازل طومسون تم بناؤه عام 1959 وكان ما لا يقل عن 20 منزل في الاستخدام حتى نهاية 1975، في أماكن من فلوريدا وكلورادو وإلى مينوبوليس موجودين في أبرد أماكن الولايات المتحدة. الشكل (14/12) يبين مقطع من نظام الشمس ومجمع التدفق المفتوح.



شكل (14/12) مبدأ العمل لنظام التدفئة الشمسية

ثوماسون سولاريز

يوجد حالياً من المساكن التي يتم تدفئتها وتبريدها بالنظام الشمسي الفعال النشط. هذه تستخدم مجمعات ذات اللوح المستوى مزدوجة الزجاج ذات الأداء العالي لتسخين الماء، مائع التجمد بمادة الإيثيلين جليكول أو مادة مشابهة. في فصل الشتاء يتم استخدام الماء مباشرة في نظم التسخين لتلك المباني، وفي الصيف يستخدم الماء الساخن لتنشيط نظام التبريد بامتصاص بروميد الليثيوم. كانت هناك صعوبة في الحصول على كفاءة جمع عالية وكافية لدرجة حرارة 93.3°C ومستوى لجعل مثل هذا النظام مرغوباً من الناحية الاقتصادية في الوقت الحالي، ولكن مع إدخال مجمعات التركيز التي تتبع الشمس باستخدام عدسات الحلقات المدرجة الخطية (Linear fresnel lens)، فإن تلك النظم وفرت الأمل في النجاح التقني والاقتصادي. مجمعات اللوح المستوى المواجهة للجنوب يمكنها عموماً العمل في مجال درجة الحرارة هذه لمدة 6 ساعات فقط في اليوم، حيث خلال الصيف، فإن المجمع المواجه للجنوب لا يستقبل كمية كبيرة من الإشعاع المباشرة. مجمع التركيز على الجانب الآخر، يمكنه التحول نحو أي اتجاه والنقاط الإشعاع الشمسي.

تصميم نظام التدفئة للمبنى؛

سيتم وصف طريقة تقدير حجم النظام الشمسي، مع مراعاة الاعتبارات الآتية عند التصميم.

1- متطلبات التدفئة :

لتعيين متطلبات التدفئة للمبنى يكون من الضروري حساب معدل الفقد الحراري من المبنى. الفقد الحراري يتكون من المكونات الرئيسية وهي الفقد بالانتقال خلال

الحوائط والسقف ومساحة توزيع النوافذ في المبنى (Fenestration area) وذلك بسبب التسرب والتهوية. الطريقة الكاملة لحساب حمل التخزين تم وضعها في دليل الأساسيات لـ (ASHRAE).

كمية الحرارة اللازم توفيرها بواسطة وحدة التسخين سواء كانت بالتسخين الشمسي أو بالتسخين التقليدي أو بهما معاً، يجب أن تساوى مجموع الفقد الحرارى خلال الحوائط، وكمية الحرارة اللازمة لتدفئة هواء التكييف، والهواء الداخل بالتسرب. إذا كانت (V) هي مقدار المتر المكعب من الهواء في الساعة الداخلة بالتهوية والتسرب، فإن الحرارة المطلوبة التحويل هذا الهواء إلى درجة حرارة الغرفة تكون

$$Q_v = C.C_p (T_{in} - T_{out}) K \text{ Cal/hr (KJ/hr)}$$

حيث:

$$C_p = \text{الحرارة النوعية للهواء كيلو كالورى/ كجرام } ^\circ\text{م}^5$$

$$P = \text{كثافة الهواء كجرام/م}^3$$

$$T_{in} = \text{درجة حرارة الغرفة } ^\circ\text{م}$$

$$T_{out} = \text{درجة الحرارة خارج المبنى } ^\circ\text{م}$$

حساب الفقد الحرارى كل ساعة خلال المنشآت عادة مبنى على حالات الاستقرار.

معدل الفقد الحرارى خلال الحائط، الشباك، أو السقف في حالة الاستقرار هو

كالآتى:

$$Q_{wat} = UA (T_{in} - T_{out})$$

حيث:

$$U = \text{معامل الانتقال الكلى للحرارة، لذلك فإن الحمل الحرارى الكلى على}$$

المنزل.

$$Q_{total} = Q_v + Q_{aw}$$

أى إجمالى الحمل الحرارى الكلى = كمية الفقد الحرارى + الحرارة المطلوبة.

2- تصميم المجمع للمبنى: (Design of a collector for a building)

المعايير الهامة التى يجب مراعاتها في تصميم المجمع الشمسي هي ميل المجمع، عدد الأغشية ومساحة المجمع.

ميل المجمع: لقد أظهرت الدراسات أن أقصى ميل للمجمع الذى يعطى كل وحدة من الحرارة بأقل تكلفة هو تقريباً خط العرض 15° . لخدمة الماء الساخن فقط، خلال العام أفضل ميل هو المساوى لخط العرض.

أفضل توجيه للمجمع هو المواجهة للجنوب.

عدد الأغطية :

أفضل عدد من الأغطية الزجاجية يتغير مع المناخ وموضح فى الجدول التالى لمختلف حالات المناخ.

شكل أفضل عدد الأغطية المجمع الشمسى:

نوع المناخ	عدد الأغطية
الصحراء الاستوائية ودون الاستوائية	1
الأرض الاستوائية ذات الحشائش	1
السهل المستوى اللاشجرى تحت المدارى	1 أو 2
الصيف الجاف تحت المدارى	1 أو 2
الرطب تحت المدارى	2
الصيف الرطب الحار القارى	2
الصيف الرطب البارد القارى	2
خطوط العرض الباردة الشمالية	3

تعيين المساحة المناسبة للمجمع الشمسى:

لا توجد قاعدة عامة حالياً لحساب أنسب مساحة للمجمع. يمكن تعيينها لكل مبنى فى كل مكان بعمل حسابات كل ساعة لمتطلبات التدفئة ثم استخدام التحليل الاقتصادى. فى حالة مثل حمل التسخين الصغير حيث لا يلزم حساب، حيث يمكن استخدام طريقة تقريبية باستخدام المتوسطات الشهرية لتناسب الحسابات اليدوية. نتيجة هذه الطريقة يجب استخدامها بحرص حيث تكون مبنية على بيانات مناخية طويلة وليست عشوائية خلال أحمال الذروة. فى هذه الطريقة كمية الطاقة التى يمكن جمعها كل شهر يتم حسابها أولاً. الحمل الحرارى للمبنى وحمل الماء الساخن لكل شهر يتم حسابه كذلك. يمكن عندئذ تعيين ما إذا كانت كمية الطاقة الشمسية كافية من عدمه لتلبية المتطلبات الشهرية، أى تقصير يتم توفيره بالتسخين الإضافى كل شهر. بهذه الطريقة يفترض أن السعة التخزينية كبيرة بما يكفى ويسع كل الطاقة التى يتم جمعها. ولكن السعة التخزينية التى يتم حسابها من المحتمل أن تكون غير اقتصادية نظراً لأنها ستكون كافية لعدة أيام

غير مشمسة ولذلك، سوف تكون كبيرة جداً، استخدام كامل ولكن فقط أوقات قليلة خلال فصل التدفئة.

تخزين الطاقة الحرارية :

كما سبق مناقشته يمكن تخزين الطاقة في خزانات معزولة محتوية على وسط تخزين حرارى. وسط التخزين يمكن أن يكون (1) الماء (2) الصخر أو الزلط (3) مواد غير المجال أى المواد القابلة للانصهار. استخدام الأخيرين ثبت عدم الاعتماد عليه بالنسبة للتخزين عند درجة الحرارة المنخفضة. تخزين الماء يستخدم مع مجمعات الماء البارد، بينما الصخر أو الزلط يستخدم مع نظم مجمعات الهواء الساخن. السعة التخزينية العادية للحرارة هي حوالى ثلاث أضعاف للماء مقارنة بالهواء.

توجد أقصى كمية لتخزين الماء لوحدة المساحة من المجمع الشمسى. فى حالة الحجم الصغير للتخزين تكون درجة الحرارة مرتفعة والوقت الذى يمكن التخزين من إمداد الحرارة سيكون قصيراً. إذا كان حجم التخزين كبيراً فإن التكلفة قد تكون مرتفعة والفترة التى يتم فيها الاستخدام الكلى للتخزين ستكون صغيرة. لذلك فإنه يوجد أقصى سعة تخزين لوحدة المساحة للمجمع. لذلك فإن القيمة المثالية هذه تكون ليس لا علاقة بمكان المبنى والحمل الحرارى والعزل.

أفضل مائع للانتقال الحرارى للنظم الشمسية هو الماء وأسهل طريقة لتخزين الطاقة الحرارية هي بتخزين الماء مباشرة فى خزان معزول جيداً. أفضل حجم للخزان المجمع اللوح المستوى هو حوالى 70 كجرام/متر المربع. فى حالة استخدام الهواء كوسط الانتقال الحرارى، فإنه يمكن تدويره مباشرة خلال حوض الزلط لتبادل الحرارة، ثم سحبه من حوض الزلط إلى المنزل، طبقاً للمطلوب للتدفئة والاستخدامات الأخرى. التخزين حرارى المدمج من الممكن مع مادة تغير المجال مثل ملح جلوبر ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

نظم التحكم والتوزيع وتجهيزات التدفق :

المعدات لتدفئة الحجرة والتحكم، ونظم توزيع الهواء .. الخ، يجب أن يتم تصميمها لنظام التسخين الشمسى بالطريقة التقليدية. تجهيزات التحكم المناسبة تكون مطلوبة لتشغيل طلمبة تدوير سخان فقط بعد تمام دفئ المجمع الشمسى بمقدار كافى. كذلك يتم إيقاف الطلمبة بواسطة التحكم عندما يكون هناك إشعاعات شمسية غير كافية. يمكن استخدام الثيرموستات التقليدى لإحكام متطلبات تسخين وتبريد الهواء. نظام توزيع

الهواء، معدة تدفئة الحجرة، الطلمبات، النافخات، المثبتات.. الخ، يتم تصميمهم بالطريقة التقليدية.

تجهيزات التحكم :

النظم الشمسية تحتاج إلى العديد من تجهيزات التحكم للتحكم الآلى فى الطلمبات، والنافخات، المحابس، والنظم الفرعية الأخرى التى تجمع وتدفع الحرارة إلى التخزين وإلى المبنى. نظم التحكم ربما تكون المكونات المهمة فى النظم الشمسية، حيث يكون التأكيد على الإنشاء والتشغيل للمجمعات الشمسية ونظم التخزين الشمسى. لذلك فإن العامل الرئيسى لضعف أداء كثيراً من النظم الشمسية المقاومة كان لضعف التحكم، أو الإنشاء الغير ناسب أو المعاييرة. يوجد العديد من الأمثلة لنظم التحكم التى كانت بسبب نقص المعاييرة أو تلف الحساس، قد سمحت لطلبة التدوير الرئيسية باستمرار العمل ليلاً، بذالطرد إلى الجو الحرارة التى تم تجميعها خلال اليوم.

الوظيفة الرئيسية لنظام التحكم هى لضمان أنه سيتم تجميع أقصى كمية من الطاقة الشمسية وأنه سوف يتم إمداد أحمال التدفئة والتبريد للمبنى عند الحاجة. يمكن بسهولة فقد كل مميزات الطلاءات الانتقائية والتحسينات الأخرى فى النظام بهدف زيادة كفاءة فى حالة عدم عمل التحكم للحصول على أقصى استفادة من النظام المنشأ. فى تحليل النظم الشمسية، يفترض عادة أن أجهزة التحكم تعمل جيداً، ولكن هذا نادراً ما يحدث فى واقع الإنشاءات الشمسية.

أجهزة التحكم قد تعمل على تشغيل وإيقاف الطلمبات، أو تنظيم سرعتها. عناصر التحكم بالتشغيل والتوقف هى الأكثر أهمية بسبب بساطتها. كما سبق وصفه طللبة المجمع الرئيسية يتم تشغيلها حيث تكون كثافة الإشعاع الشمسى بتسخين الماء فوق مستوى حالة التوقف المخالفة. يتم تأسيس التشغيل التفاضلى حيث فرق درجة الحرارة بين الماء فى قاع خزان التسخين الشمسى والمجمع الشمسى الذى يضمن أن الماء يتم تسخينه إلى درجة حرارة عالية كافية فى المجمع بحيث أن الطاقة يتم تجميعها بمعدل يزيد عن الطاقة المطلوبة لتشغيل الطلمبة. نظم التحكم الشمسى تتكون من عنصرين أساسيين، وهما مفتاح التحكم Controller، المشغل الآلى (Actuator). مثال لمفتاح التحكم هو ثيرموستات الحجرة العادى والمشغل الآلى فى تلك الحالة هو المرحل (Relay) الذى يحول الفرن إلى التشغيل أو التوقف.

تم أخذ طريقتين أساسيتين مختلفتين لإحكام نظم الطاقة الشمسية. الأول هو أخذ كل عملية تحكم واستخدام الثيرموستات التفاضلى أو الثيرموستات العادى لتمكين أو لعدم تمكين الطلمبات، المحابس التى تعمل بمحرك وتجهيزات تحكم أخرى.

الطريقة الثانية تختلف أساساً عن الأولى، وهي باستخدام حاسب آلي ميكروني لإحكام عملية نظام الطاقة الشمسية. والحاسب الميكروني (Micro computer) يستقبل إشارات من الحساس الموضوع عند مختلف النقاط الحساسة من النظام والذي يقوم بتشغيل المشغل الآلي لتنظيم الطلبات، المنافذات، المحابس التي تعمل بنظام الطاقة الشمسية.

أحد تجهيزات التحكم الأساسية للنظم الشمسية هو الثيرموستات منخفض الفولت ذو المرحلتين (Two stage low voltage thermostat)، والذي يستشعر درجة حرارة هواء الغرفة وله نقطتين تشغيل للتدفئة. عندما تكون نقطة الضبط في التحكم الآلي العليا (مثل 20°C) يتم الوصول إليها، فإن الطلبات أو المنافذات التي تدير الحرارة من التخزين أو المجمعات إلى المبنى يتم تنشيطها لإمداد التسخين الشمسي. المرحلة الثانية (مثال $\approx 18^{\circ}\text{C}$) بداية تشغيل الفرن التقليدي. بهذه الطريقة، يعمل الفرن التقليدي فقط إذا كانت الطاقة الشمسية غير قادرة على إمداد احتياجات الحرارة للمبنى. الثيرموستات ذو المرحلتين يستخدم عادة مع تجهيزات التدفئة التقليدية، مثل طلبات التي تتطلب مصدر طاقة إضافي (لفيه التسخين الكهربائي) إذا كان طلبية التسخين نفسها غير قادرة على تلبية متطلبات التدفئة.

تجهيزه تحكم مفيدة أخرى هو الثيرموستات الخارجي (Out door) الذي يستشعر درجة الحرارة خارج المبنى. الثيرموستات خارج المنزل يمكن أن يمنع وحدات التدفئة الإضافية من العمل لحين وصول درجة الحرارة الخارجية إلى مقدار معين. سرعة النافخ أو المروحة يمكن أن تتغير لذلك، طبقاً لدرجة الحرارة الخارجية.

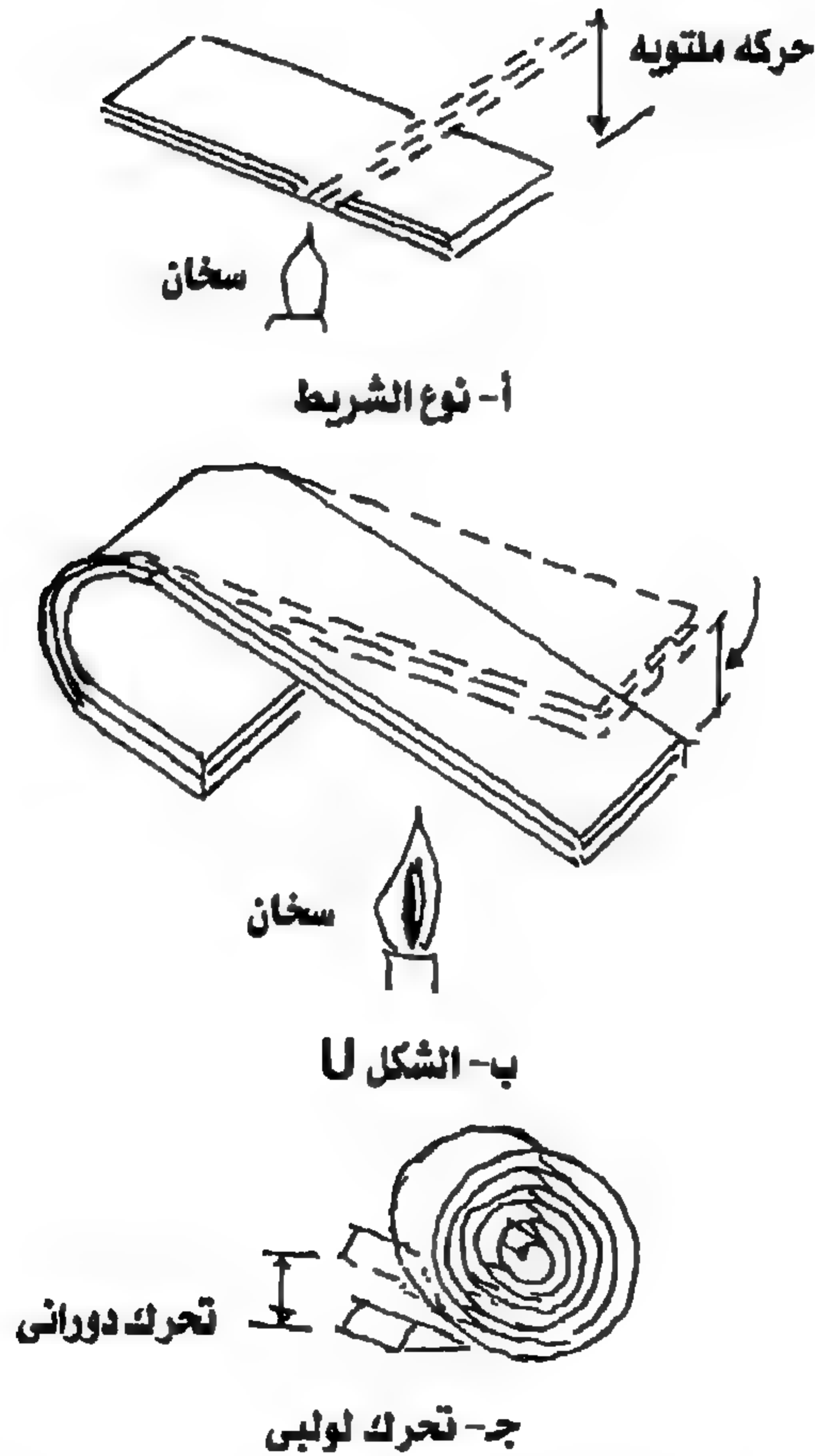
ربما يكون التجهيز الأكثر استخداماً في النظم الشمسية هو الثيرموستات التفاضلي، الذي يقيس الفرق في درجة الحرارة بين اثنين حساس (2 sensors) وينشط المحول. وعندما يزيد الفرق في درجات الحرارة مقدار ما، فإنه يوجد عادة فتح وقفل تفاضلي بحيث أنه عند بدء تنشيط المحول بواسطة الثيرموستات التفاضلي، فإن المحول يتم تنشيطه لحين هبوط فرق درجات الحرارة إلى دون القيمة الحالية، المعروفة بدرجة الحرارة التفاضلية للتوقف. توجد ثرموستات التنسيب التفاضلي لتغيير سرعة الطلبية بدلالة فرق درجة الحرارة بين المجمع الشمسي والماء في قاع حوض التخزين الحراري. إذا كان فرق درجة الحرارة صغير فإن الطلبية تعمل بسرعة منخفضة وتوفر طاقة كهربائية.

ومع زيادة درجة الحرارة التفاضلية، تزداد سرعة الطلبية. الثيرموستات التفاضلي متاح كذلك لإيقاف طلبية التدوير الرئيسية عند زيادة درجة حرارة التخزين أو تشغيل

التدفئة الشمسية للمباني

طلبة التدوير الرئيسية عند انخفاض درجة الحرارة في المجمع الشمسي إلى قيمة معينة، ذلك يمنع حدوث التسخين الزائد لوحدة التخزين ويوفر الحماية من التجمد.

يمكن الاعتماد على جهاز الإحساس (Sensors) مقارنة بنظم التحكم بالحاسب الآلى. جهاز الإحساس هو التجهيزة التي تقيس فروق درجات الحرارة والضغط. يتكون الحساس من المعدن المزدوج (Bimetallic sensor) من شرائط من معدنين مختلفين مرتبطين معاً مثل النحاس والحديد، ولهم معاملات تمدد حرارى مختلفة. التغير فى درجة الحرارة بسبب تمدد شريط المعدن وبذا يحدث التصاق كهربى. الشكل (15/12) يوضح أنواع من أجهزة الإحساس المبني على هذا المفهوم.

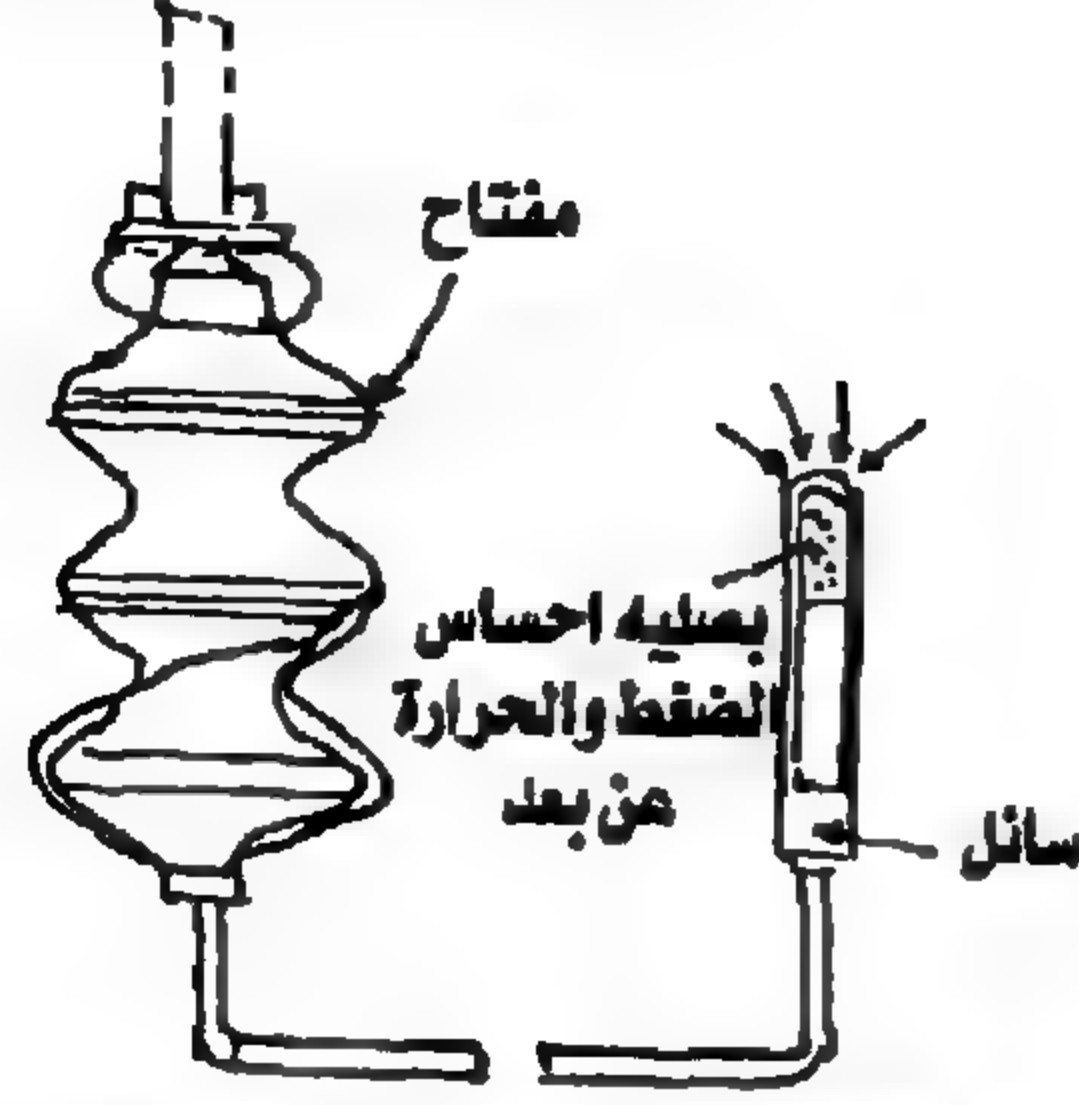


شكل (15/12) بعض أجهزة الإحساس مزدوجة المعدن (Bimetallic)

نوع الحركة الدورانية هو العادي في جالة الثيرموستات المنزلى. أجهزة الحساس بالمفتاح (Bellows sensors) تستخدم بصيلة (Bulb) التي يتمدد منها بخار لامتداد

المنفاخ، الذي يتصل بوحدة التحكم. مثال لأجهزة الإحساس بالمنفاخ موضح في الشكل (16/12).

إلى آلية التحكم في درجة الحرارة



أ- نظام الإحساس - السائل - البخار الممتلئ
إلى آلية إحكام درجة الحرارة



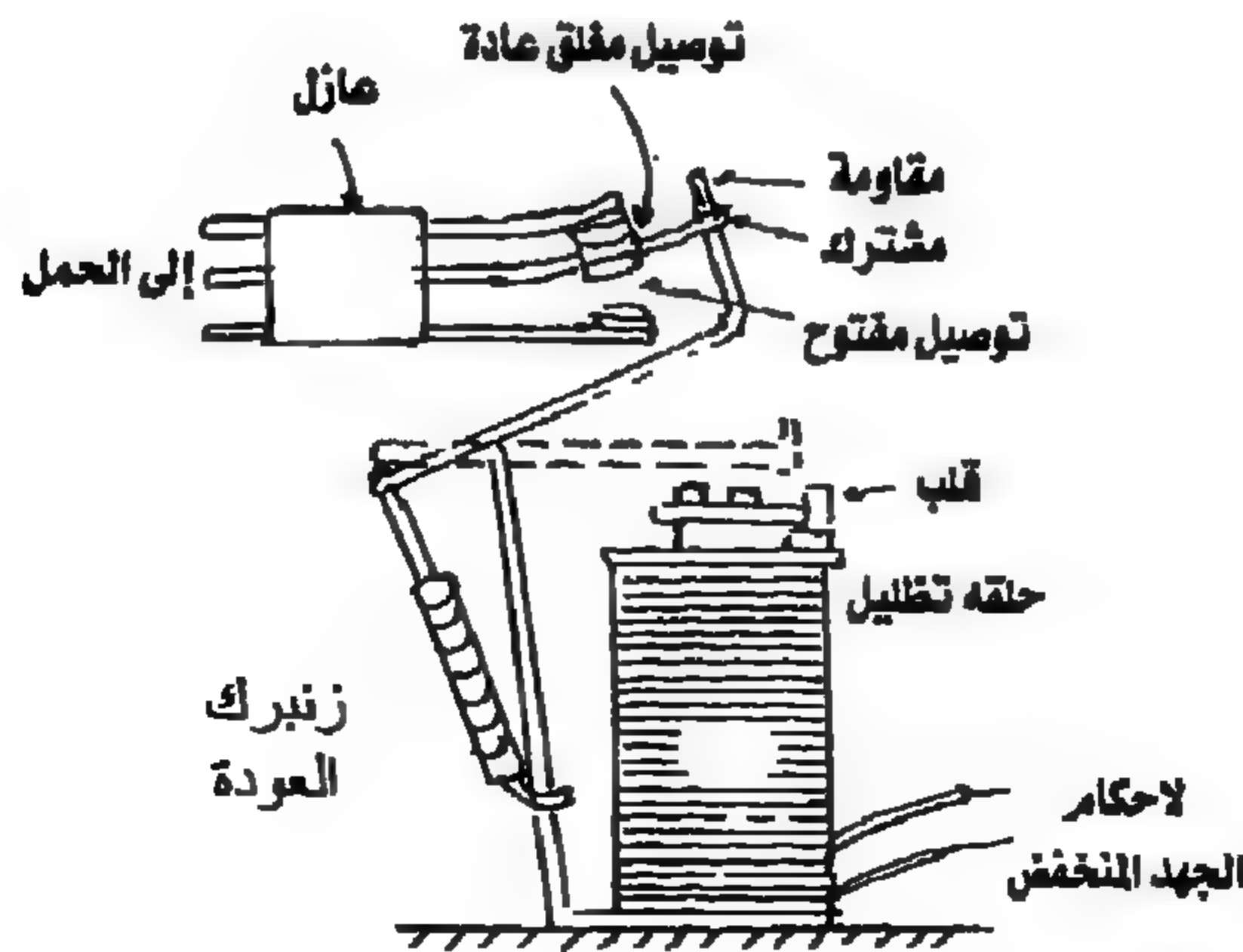
ب- نظام الإحساس السائل - الممتلئ

شكل (16/12)

المقاوم الحراري (Thermister) هو نوع آخر، ويتكون من شبه موصل الذي له خصائص مقاومة كهربية ذات دلالة قوية لدرجة الحرارة. تدفق التيار خلال المقاوم الحراري يتغير مع تغيرات درجة الحرارة، ويستخدم كوبري كهربى لتنشيط المحول أو التابع القمري (Solenoid or Relay). حيث أنه يمكن وضع المقاوم الحراري بعيداً حتى 60 متر من وحدة التحكم، فإن هذا هو السبب في استخدامه على نطاق واسع.

وحدة التحكم أو الحاسب الميكرونى يستقبل الإشارات من أجهزة الإحساس ثم يتحكم في الطلبات والمحابس بتشغيل المحولات (Relays) من النوع الموضح في الشكل (17/12). المحول من هذا النوع يعمل بواسطة ثيرموستات ذو الجهد المنخفض (24 فولت)، والذي يسبب حمل فرق جهد عالى، مثل 120 إلى 240 فولت لعمل الطلبية أو المحابس. يتم تمرير تيار صغير بمقدار 24 فولت خلال لفافة المواسير

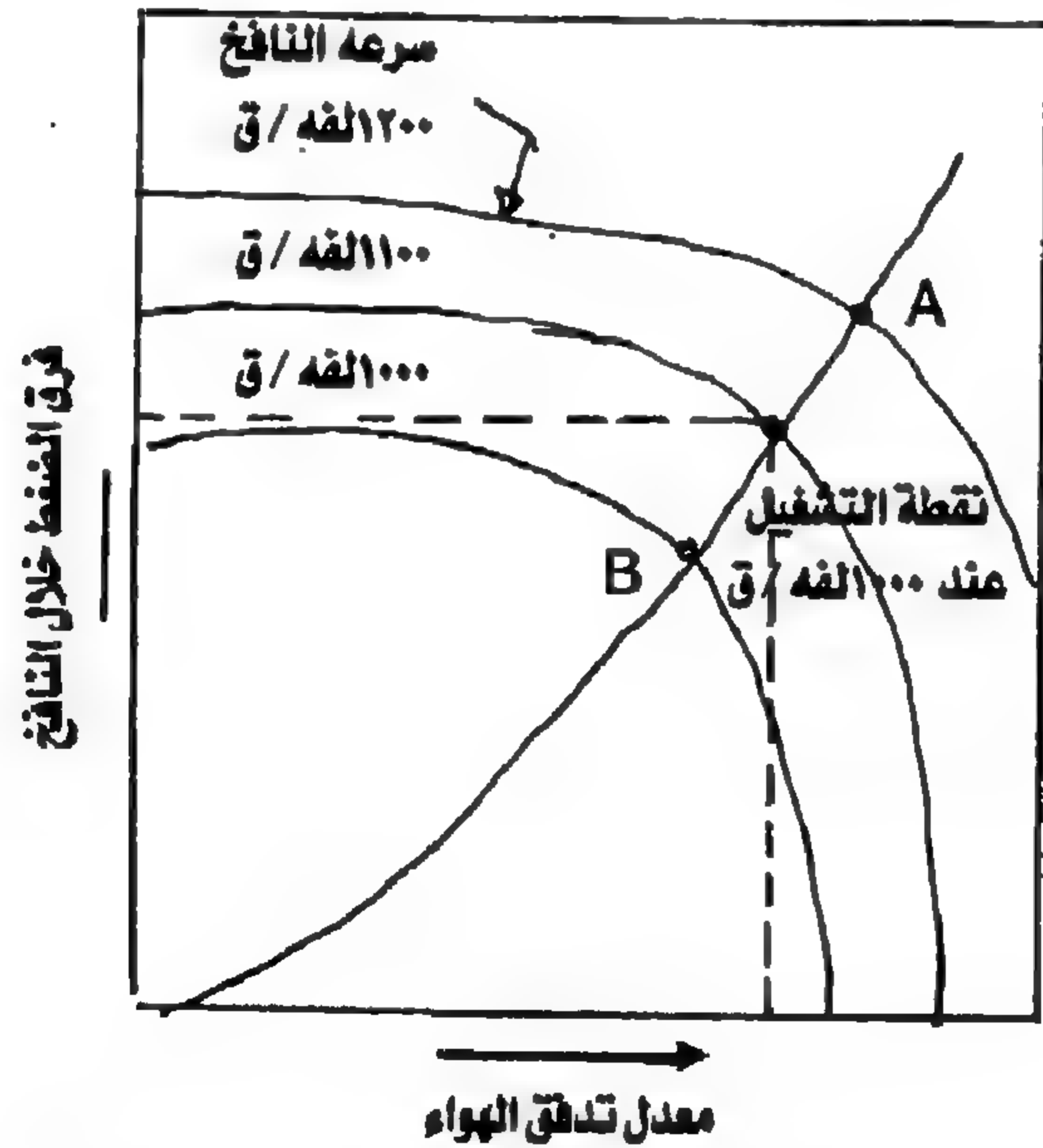
(Coil)، الذي يولد قوة مجال مغناطيسي على دوار المحرك الكهربى (Armature) حيث يسبب ذلك توقف عضو دوار المحرك. عندئذ يقوم عضو دوار المحرك (المغناطيسى) بفتح الالتصاق المغلق طبيعياً. مثل هذا النحول يمكن استخدامه لتشغيل معدة كهربية وإيقافها، عند تنفيذ فرق الجهد على المحول. فى الشكل الموضح، المحول يمكن أن يقوم بتشغيل محبس أو تجهيز آخر الذى تم إيقافه عند استخدام الطاقة نحو اللفة (Coil)، على الجانب الآخر إذا كان الاتصال المفتوح طبيعياً تم توصيله بسلك (Wired) نحو الحمل، فإن المعدة الكهربائية يتم تشغيلها عند إمداد الطاقة إلى اللفة وبخلاف ذلك تتوقف. نظام التحكم يستخدم مصفوفة من محولات الطاقة (Power relays) لتشغيل المحابس الكهربائية والطلسمات فى النظام ذو الأساس السائل، أو النافخات والمثبطات فى النظام ذو الأساس - الهواء، ولتنشيط وحدات التسخين الإضافية، طبقاً لدرجة الحرارة والضغط وفروق درجات الحرارة. المزدوجة الحرارية (Thermocouples)، العناصر ذات الازدواج المعدنى، وأجهزة إحساس تمدد السائل، البخار تستخدم كذلك بالإضافة إلى (Silicon transistors). المزدوجة الحرارية تستخدم لقياس درجات الحرارة ولكن نادراً ما تستخدم فى التحكم، نظراً لأن خرج فرق الجهد يكون منخفضاً ويلزم التكبير لتوفير الفولت الكافى لتجهيزات التحكم. طلاً من المقاوم الحرارى، الترانسسستور السيليكونى يولدوا فرق جهد خرج بمقدار صفر - 10 فولت، والذى هو عالى بما يكفى لمهام التحكم نظراً لأن خرج فرق الجهد من المقاوم الحرارى ليس متناسباً مع درجة الحرارة، فإن الحاسب الميكرونى أو نظم التحكم الأخرى يجب أن تعلى عدم استقامة المقاومة مع درجة الحرارة. وكذلك فإن خرج فرق الجهد من الترانسسستور السيليكونى يكون متناسباً مع درجة الحرارة خلال مجال عملهم الطبيعى، والذى يسمح ببساطة لدائرة التحكم.



شكل (17/12) نموذج لمؤجل

المراوح، الطلمبات والمبادلات الحرارية؛

المراوح (النافخات) أو الطلمبات لنظم التسخين والتبريد الشمسي يتم اختيارها بمنظاهرة خصائص الضخ مع خصائص الهبوط في الضغط للنظام. هندسة وسرعة العمل للمروحة أو الطلمبة له تأثير على خواص ضخها. خصائص الطلمبة أو المروحة بدلالة قوة الحصان للمحرك أو عدد اللفات في الدقيقة يتم توفيرها بواسطة المنتج الشكل (18/12) يبين نموذج المنحنيات للمروحة. المصمم يجب أن يحسب الهبوط في الضغط للنظام لاختبار المروحة وسرعة التشغيل بحيث أن يكون فرق الضغط خلال المروحة يساوي الهبوط في ضغط النظام عند معدل التدفق للتشغيل. بالنسبة للحالة الموضحة في الشكل (18/12) نقط العمل سوف تتطلب سرعة مروحة 1100 لفة في الدقيقة. سرعة المروحة الكبيرة (النقطة A) سوف تنتج هبوط كبير في الضغط ومعدل تدفق أعلا يصاحبه زيادة كبيرة في متطلبات الطاقة للنافخ. إذا كانت المروحة صغيرة جداً أو أن سرعتها بطيئة جداً فإن النظام قد يعمل عند النقطة (B) والذي ينتج عنه انخفاض في معدل التدفق، ويصاحبه تحلل في أداء النظام.



شكل (18/12) خواص منحنيات النافخ النموذجية

نافخات الطرد المركزي (Centrifugal blowers) في نظام تسخين الهواء يمكن أن تكون إما التي تعمل بالسير (Belt Driven) أو العمل المباشر (Direct Drive). تلك هي أنواع النافخات المستخدمة عادة. النافخ المعين سوف يكون له نقطة عمل

(Operating point) [معدل التدفق، فرق الضغط] الذي عنده تكون كفاءته عند أقصاها. المراوح والناقلات يتم اختيارها للعمل قريباً من أقصى كفاءة لنقطة التشغيل. الطلمبات تستخدم لتدوير السائل لموائع الانتقال الحراري في النظم الشمسية الفعالة النشطة. النوعين الرئيسيين للطلمبات التجارية المتاحة هما الطلمبة ذات الإزاحة الموجبة (والتي تتصف بمعدل التدفق المنخفض وفرق الضغط العالي أو الضغط الرأسي)، وطلمبات الطرد المركزي (التي تتصف بانخفاض الضغط الرأسي وزيادة معدل التدفق) للعديد من الطلمبات ذات سعات مختلفة ومتاحة. الطلمبات متاحة من معدن الحديد، البرونز أو الصلب المقاوم. الطلمبات من معدن الحديد يحدث لها صدأ سريعاً في حالة استخدامها في النظام المفتوح، ولكن تكون كافية إلى حد ما للنظم الحلقية المغلقة مع مثبت التآكل. صافي ضغط الامتصاص أو السحب عند مدخل الطلمبة يجب ألا يقل عن ضغط البخار للماء عند الطلمبة، وإلا يحدث تآكل كهفي (Cavitation) بما يترتب عليه تلف للطلمبة.

المبادلات الحرارية:

تستخدم المبادلات الحرارية في النظم السائلة لعزل المحلول المضاد للتجمد في حلقة تدوير المجمع من خزان المياه ولعزل ماء التسرب من المحاليل التي لا يتم شربها. النوعين الأساسيين من المبادلات الحرارية هما ذو الحلقة المزدوجة والمنفردة. مثل الحلقة المنفردة هو المبادلات الحرارية ذات لفة المواسير في الخزان (Coil In Tank) شكل (16/11c)، المبادل الحراري الملفوف بـ (Wraparound) حيث تكون الماسورة ملفوفة حول الخزان وملحومة فيه. الماء من المجمع الشمسي يتم مروره خلال الأنبوب وتنقل الحرارة إلى الماء في الخزان. الشكل (16/11) ب يوضح نظام الحلقة المزدوجة (Double loop) والذي يستلزم طلمبتين لاستمرار إحكام التدفق الموجب على كلا جانبي المبادل الحراري. في حالة التدفق العكسي بالحلقة المزدوجة للمبادل الحراري، فإن معدل الإمكانات (Capacity Rate) أي طاقة التسخين في معدل تدفق الكتلة، للتدفقات على كلا جانبي المبادل الحراري تصبح متساوية.

ميزة وجود المبادل الحراري في النظام الشمسي هو ضروري زيادة درجة حرارة التشغيل للمجمعات الشمسية لإعطاء درجة حرارة معينة إلى سائل التخزين.

لزيادة في درجة حرارة تشغيل المجمع الشمسي ينتج عنها انخفاض في الكفاءة. هذا الفرق في درجة الحرارة يكون ضرورياً بحيث أن الحرارة سوف تنقل من مائع المجمع إلى تخزين الماء الدوار خلال المبادل الحراري.

الفصل الثالث عشر

التبريد الشمسي للمباني

1- مقدمة :

استخدام الطاقة الشمسية للتبريد يمكن أن يكون إما لتوفير التبريد لحفظ المواد الغذائية أو لتوفير التبريد للراحة. توجد خبرة أقل في مجال التبريد الشمسي مقارنة بالتسخين الشمسي. تم تصميم العديد من المباني بالتدفئة الشمسية وبناءها وتشغيلها لفترات طويلة ولكن ما تم بالنسبة للتبريد الشمسي هو تجارب قليلة لمدد قصيرة. ولكن يتوقع أن تقوم النشاطات البحثية بسد الفجوة بين الاثنين خلال سنين قليلة.

التبريد الشمسي له بعض المميزات مقارنة بالتسخين الشمسي. الحاجة غلى التبريد تكون أكثر في حالة سطوع الشمس يوميا أو كل عام. نظرا لأن الإشعاع الشمسي هو العامل الهام في تحديد درجة الحرارة خارج المنزل، فإن المواسم الحارة من العام تحدث عادة خلال فترات شدة سطوع الشمس. بالمثل فإن ساعات أعلا درجة حرارة في اليوم يقابلها أعلا معدل إشعاع شمسي. عوامل أخرى مثل الرياح والرطوبة. نظم التبريد الشمسي عادة يتم تصميمها مع فريضة أن ذروة أحمال التبريد ليس من الضروري أن تتوافق مع ذروة شدة الإشعاع الشمسي.

الطريقتين لخفض درجة الحرارة لتبريد الفضاء هي التبريد (Refregiration) (عادة إزالة الطاقة من الهواء) والتبخير للتبريد (تبخير الرطوبة) كذلك تستخدم إزالة الرطوبة. يحدث التبريد بالتبخير عند حدوث تبخير للماء ، تبخير العرق من الجلد هو أحد الآليات التي يستخدمها جسم الإنسان ليظل باردا. التبريد بالتبخير للمباني يعمل جيدا في المناخ الجاف. إزالة الرطوبة من الهواء، هي طريقة تبريد في المناخ الرطب والذي يشار إليه بإزالة الرطوبة بالامتصاص (Absorbtion dehumidification).

في هذا الفصل سوف تتم دراسة نظام تكييف الهواء بنفس المجمعات الشمسية المستخدمة في التدفئة الشتوية.

2- تصميم نظام التبريد الشمسي :

عند تصميم نظام التبريد الشمسي فإنه يتم مراعاة العناصر الآتية:

أ- متطلبات التبريد :

حمل التبريد للمبنى هو المعدل الذي عنده يجب إزالة الحرارة لاستمرار الهواء في المبنى عند درجة حرارة معينة. يتم حسابها عادة على أساس حمل الذروة المتوقع خلال فصل التبريد.

ب- تصميم المجمع الشمسي للتبريد الشمسي للمبنى:

يتم اختيار مساحة المجمع الشمسي، الميل وعدد الأغشية.

ج- تخزين الطاقة:

تخزين الطاقة عند درجة حرارة عالية أو منخفضة كلاهما ممكن في التبريد الشمسي. تصميم خزان الحفظ يحكمه اعتبارات اقتصادية.

3- نوع نظام التبريد:

نظام ضغط البخار أو امتصاص البخار يمكن استخدامه. النظام يمكن أن يكون من نوع العمل المستمر أو المتقطع. يمكن استخدام نظم أخرى طبقاً للمكان.

4- التحليل الاقتصادي:

أ- متطلبات التبريد:

حمل التبريد للمبنى يعتمد على:

- درجة الحرارة الداخلية والرطوبة النسبية.
- درجة حرارة الخارجية والرطوبة النسبية.
- حمل التسخين الشمسي خلال النوافذ والحوائط.
- التسرب والتهوية.
- أحمال إضافية.

طريقة حساب حمل التبريد طبقاً للخطوات الآتية:

1- يتم أولاً دراسة تفاصيل المبنى.

- مساحة الحائط، نوع الإنشاء وخواص السطح والسقف.
- مساحة النافذة، نوع توزيع النوافذ والستائر.
- مكان وتوجيه المبنى.

2- يتم توصيف الحالات الداخلية والخارجية.

3- حساب انتقال واكتساب الحرارة الشمسية خلال الحوائط والسقف.

4- حساب اكتساب الحرارة الشمسية خلال مساحات النوافذ.

- 5- حساب معدل التهوية و/أو التسرب والأحمال طبقاً لذلك.
 - 6- حساب الحرارة المكتسبة بسبب الأنواء، الإضاءة ومصادر الحرارة الأخرى.
 - 7- حساب الحرارة المكتسبة بواسطة الناس.
- اكتساب الحرارة يتضمن كلا من المحسوسة والحرارة الكامنة.
- بمجرد تعيين اكتساب الحرارة لمبنى معين، فإن الخطوة الأخيرة هي لحساب أحمال التبريد للمبنى بسبب:

الانتقال الحرارى خلال النوافذ.

الانتقال الحرارى خلال الحوائط.

الانتقال الحرارى خلال السقف.

زيادة الحرارة المحسوسة بسبب التسرب.

زيادة الحرارة الكامنة (بخار الماء)

مصادر الحرارة الداخلية، مثل الإضاءة، الإنسان الخ.

تصميم المجمع الشمسي للتبريد:

النتيجة النهائية المتعلقة بتصميم المجمع المستخدم مع فصول الصيف الحارة هي:

- 1- أفضل ميل للمجمع (S) يساوى خط العرض (ϕ) (باستثناء فى الجنوب حيث $S = \phi - 10^\circ$).

- 2- أفضل مساحة للمجمع تكون دائماً أكبر من تلك المستخدمة للتدفئة فقط.

- 3- غطائين من الزجاج للمناخ دون المدارى، وإلا يكون المطلوب ثلاث أغطية بسبب درجة الحرارة العالية اللازمة لنظام التبريد.

نتيجة العمل والخبرة على تكييف الهواء الشمسي حتى الآن. لم تحقق نظام تكييف شمسي غير مكلف ويعتمد عليه ولا يوصى باستخدام نظام على نطاق واسع فى هذا الوقت.

تخزين الطاقة عند درجات الحرارة العالية والمنخفضة:

التخزين البارد يوفر مميزات معينة مقارنة بالتخزين الساخن. الفرق فى درجة الحرارة بين التخزين الباردة (ليكن 15°م إلى 10°م) ودرجة الحرارة المبنى (التي تكون أقل عن فرق درجة الحرارة بين التخزين الساخن عند درجة حرارة الغرفة 21°م)

(حوالي 50-75°م). نتيجة لذلك، يتم فقد تأثير أقل من التخزين البارد مقارنة بذلك من التخزين الساخن. هذا بالإضافة إلى أن التخزين البارد مفضل عن التخزين الساخن نظراً لأن الفقد من التخزين الساخن في المبنى تضيق إلى حمل تكييف الهواء الصيفي. القرار نحو استخدام التخزين البارد أو الساخن أو التخزين المشترك يتوقف على مكان المبنى. عندما تكون أحمال التسخين صغيرة فإنه يتم التصميم للتخزين البارد فقط، نظراً لأن الاستثمار في التخزين الساخن يكون غير اقتصادي. يجب ملاحظة أن التخزين الساخن في الشتاء يمكن استخدامه كتخزين بارد في الصيف باستخدام المحابس بطريقة منظمة.

نظم التبريد الشمسي:

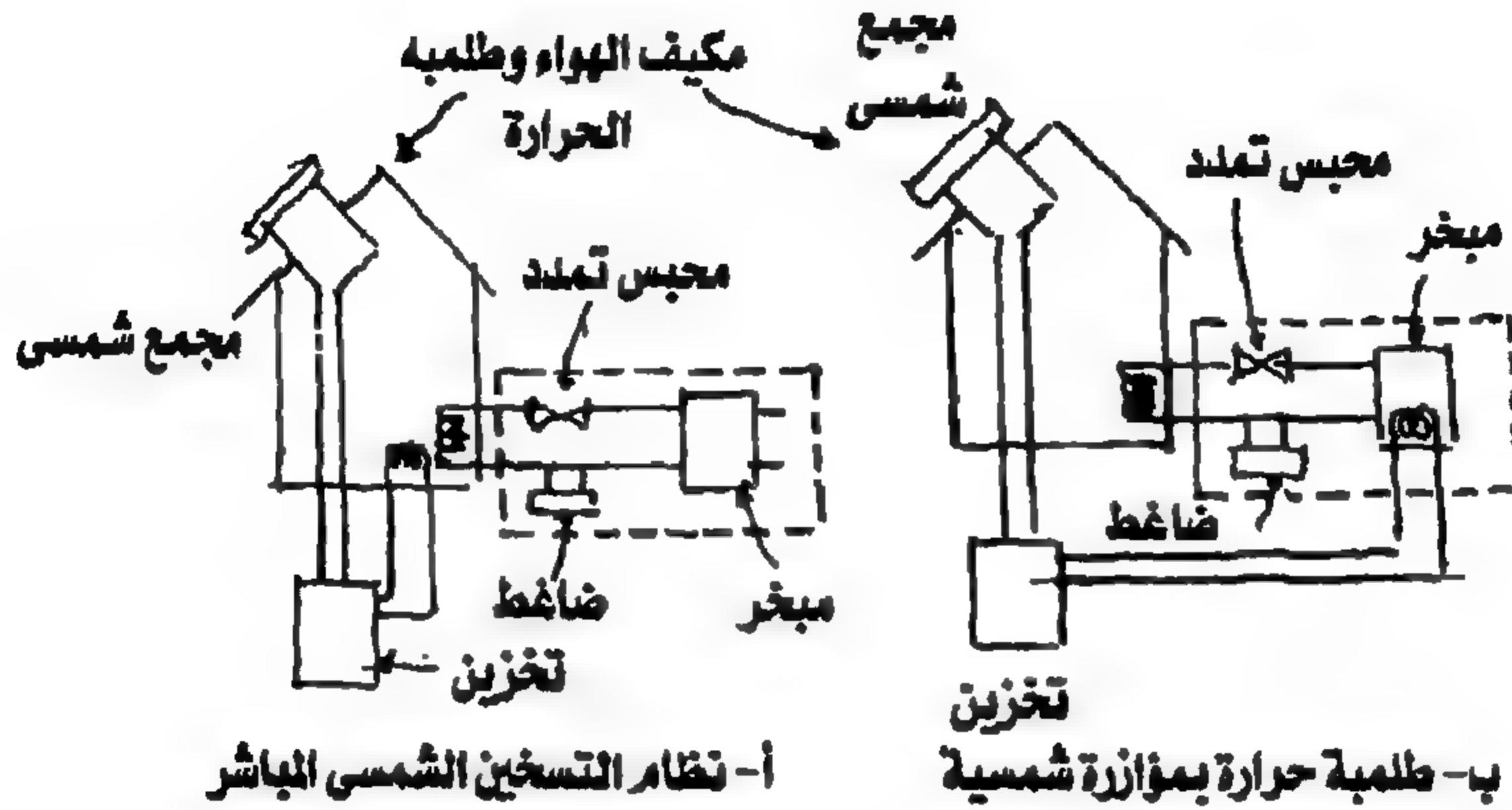
أ- نظام ضغط البخار والطلبات الحرارية :

ضغط البخار بالطريقة الكهربائية هو المستخدم عادة في نظام التبريد. يمكن استخدامه لتكييف الهواء الذي يدخل تحت أي ظروف، كذلك يمكنه إمداد مستوى من الراحة أعلا عن ذلك للنظم الأخرى.

الطريقة الجذابة لتحقيق أقصى معامل استفادة هي باستخدام طلبية مكيف الهواء بالمساعدة الحرارية الشمسية في كل مناخ العام. إمكانيات التسخين لنظام طلبية التسخين بضغط البخار ينخفض عند عمل الطلبية الحرارية في درجة في مجال درجة الحرارة المنخفضة مثل المناخ البارد. يمكن استخدام الطاقة الشمسية وسوف تقلل أو تعمل بدون التسخين الإضافي بالمقاومة. الطلبية الحرارية (Heat Pump) يمكن تعريفها بأنها النظام الذي يمتص الطاقة عند درجة حرارة منخفضة وينتج طاقة عند درجة حرارة أعلا خلال دورة ضغط البخار أو الامتصاص. ولكن، غير متاح حالياً طلبية حرارية بدورة الامتصاص. الطلبات الحرارية المتاحة تستخدم دورة التبريد القياسية بضغط البخار التي تعمل بالعكس، المبخر يوضع عادة خارج المنزل والمكثف داخل المنزل. مدخلات الطاقة الميكانيكية إلى الضاغط خلال ضغط البخار ترفع الطاقة الداخلية الممتصة على درجات الحرارة العادية إلى مستوى درجة حرارة مقيد في تدفئة الفراغ. كمية الطاقة المستخلصة من هذا النظام يمكن أن تكون أكبر عدة مرات من الطاقة اللازمة بواسطة الضاغط. الميزة الأساسية لنظام طلبية الحرارة (Heat pump) هي ذلك "مضاعفة التدفئة" (Heating Multiplication).

في نظام طلبية الحرارة بالمساعدة الشمسية المصممة لكل من التدفئة والتبريد للمبنى يوجد نظامين. في أحدهما الموضح في الشكل (13/1-أ) نظام التسخين الشمسي ونظام طلبية الحرارة يمكن أن ينفصلا. الشكل (ب) الدوريتين كما هو موضح متصلين

والمجمع الشمسي يساعد في خفض كمية الحرارة التي يجب إمدادها بواسطة الضاغط عند تسخين المبنى. من الواضح أن التنظيم الثاني أكثر كفاءة. يظل المبخر عند درجة حرارة مرتفعة بمساعدة النظام الشمسي. الحرارة يمكن انتقالها من التخزين إلى لفات مواسير المبخر.



شكل (1/13)

طلمبة تسخين مكيف الهواء هي ذات تحكم مناخى أى أنها تستخدم دورة ضغط البخار لبناء كل من الحرارة والتبريد. النموذجي، هو الصرف الحرارى ومصدر الحرارة لمثل هذا النظام هو الهواء العادى، رغم أن المياه الجوفية يمكن استخدامها. الطلمبة الحرارية هي ببساطة ناقل للحرارة والتي من خلال استخدام شغل ميكانيكى في الدورة، تزيد درجة حرارة إلى مستوى حيث يمكن استخدامه كمصدر لتدفئة المنزل.

الدورة المستخدمة في النظام القياسى لتكييف الهواء بضغط البخار موضحة في الشكل (2/13). الإضافة الوحيدة في طلمبة التسخين هي المحبس ذو أربع حارات يسمح بعكس الدورة عندما يكون نظام التسخين يتغير إلى نظام التبريد وتجهيزه تمديد مصممة خصيصاً للعمل المعين (التسخين أو التبريد). الدورة الأساسية يمكن تصميمها للعمل في كثير من الأشكال. أضخم مبنى بالتدفئة الشمسية في العالم عند إكماله، له مساحة أرض 27900 متر مربع دافئة و 2250 متر مربع مساحة تجميع يستخدم طلمبة تسخين معززة بالكهرباء للتسخين، وهذا يعتبر سلبية لطلمبة التسخين نظراً لاستهلاكها للطاقة الكهربائية.

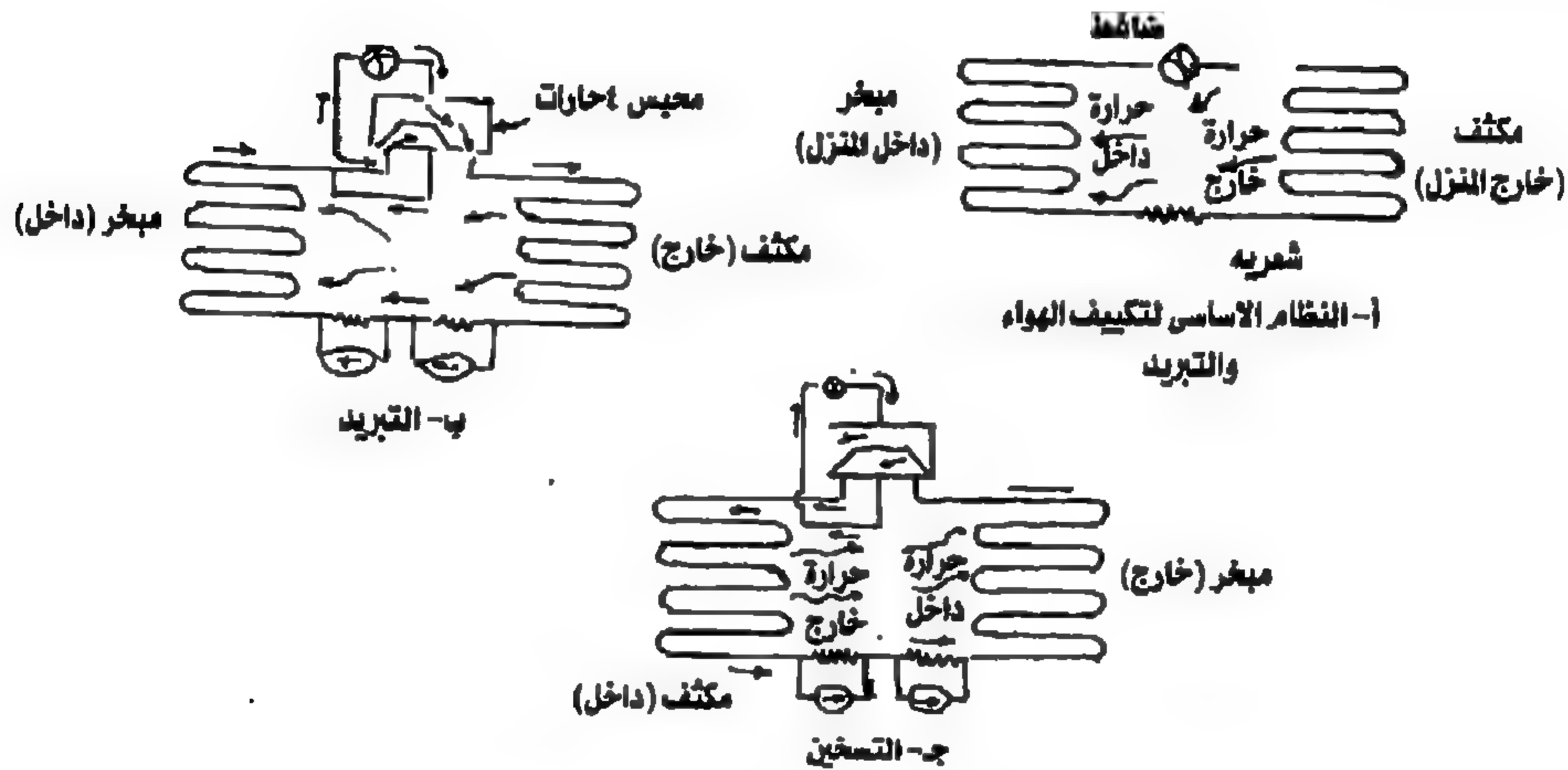
ب- تكييف الهواء بالامتصاص : (Absorbion Air conditioning)

تكييف الهواء بالامتصاص هو نظام تكييف الهواء الوحيد المتوافق مع الحدود العليا لدرجة الحرارة المستغلة بواسطة مجمعات السطح المستوى المتاحة عادة. وحدات

التبريد الشمسي للمباني

مكيفات الهواء بالحجم المنزلى أكثر تكلفة مقارنة بوحدة مكيفات الهواء بضغط البخار، ولكن حالياً فقط تكييف الهواء بالامتصاص عمل بنجاح فى المنشآت.

تم تناول عاملين نحو مبردات الامتصاص بالعملية الشمسية. الأول هو (المبرد المستمر) والذي فى إنشائه وعمله يشبه نظام التبريد لامتصاص البخار التقليدى. خزان المجمع الشمسى يمد الطاقة إلى المولد، حيث تتوفر الطاقة الشمسية، بخلاف ذلك يتم الإمداد بمصدر الطاقة الإضافى. العامل الآخر هو باستخدام (المبردات المتقطعة) والتي تعمل بطريقة متقطعة وتعمل خلال الفترات عند توفر الطاقة الشمسية. المبردات المتقطعة لم يتم استخدامها لتكييف الهواء ولا دراستها جيداً لاستخدامها فى تكييف الهواء الشمسى.



شكل (2/13) دورة ضغط البخار أ- طريقة تكييف الهواء

ب- طريقة طلبه الحرارة للتبريد ج- طلبه الحرارة للتسخين

النظام المستمر (تكييف الهواء بالامتصاص)

كلا نوعى مكيفات الهواء بالامتصاص متوفرين فى السوق، وهما نظام بروميد الليثيوم - الماء ($\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$) ونظام الامونيا الماء ($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$). من بين نظامى تكييف الهواء بالامتصاص العاديين، فإن نظام ($\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$) هى الأكثر بساطة ذلك لعدم الحاجة إلى برج التقطير. فى نظام ($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$) برج التقطير يؤكد عدم وجود بخار ماء مخلوط مع الـ (NH_3) يدخل المبخر حيث يمكن أن يتجمد. فى نظام ($\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$) بخار الماء يكون مبرداً. بالإضافة فإن نظام الماء الامونيا يتطلب درجة حرارة مولد من 120 إلى 150° م، درجة الحرارة هذه أعلا من الذى يمكن توفيره بواسطة مجمع اللوح المستوى، بدون تقنيات خاصة. نظام ($\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$) يتطلب درجة

النظام يتكون من جزئين وهما:

1- المجمع الشمسي والتخزين .

2- مكيف الهواء بالامتصاص والتسخين الإضافي.

المكونات الأساسية للمبرد هي:

(1) المولد (G)، (2) المكثف (C)، (3) المبخر (E)، (4) الماص (A)، (5) المبادل الحرارى (HE).

عمل مكيفات الهواء بالامتصاص بالطاقة من أنظمة مجمع اللوح لمستوى والتخزين هو الأسلوب العادى فى التبريد الشمسي الآن. فى الأساس التبريد يتم تنفيذه كمولد لمبرد الامتصاص يتم إمداده بالحرارة بواسطة المائع الذى يتم ضخه من نظام تخزين المجمع أو من مصدر ثانوى.

يتم إمداد الحرارة إلى محلول المبرد فى الماص فى المولد، حيث يتم تقطير المبرد من السائل الماص. المبرد (الآن سائل) يتم تكثيفه وذهابه خلال محبس خفض الضغط إلى المبخر حيث يتبخر ويبرد الهواء أو الماء لتبريد الفضاء. بخار المبرد يذهب إلى الماص حيث يلتصق مع المحلول الضعيف فى المبرد والذى يتدفق من المولد. البخار يتم امتصاصه فى المحلول، والذى يعود عندئذ إلى المولد. يستخدم مبادل حرارى لاستعادة الحرارة الملموسة ويحسن أداء المبرد إلى حد كبير.

من وجهة نظر استخدام مصدر الطاقة التقليدى، فإنه يوجد مؤشر واحد للأداء لعمليات التبريد والذى هو معامل الأداء (Coefficient of performance) نسبة كمية التبريد إلى الطاقة المطلوبة. فى حالة الأداء الشمسي يوجد عاملين آخرين، مستوى درجة الحرارة اللازم فى المجمع الشمسي لتشغيل العملية ونسبة التبريد المنتجة إلى الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع (نظام معامل الأداء). نظراً لأن الطاقة الشمسية ذات طبيعة متغيرة فى عملها، فإن نسب الطاقة ودرجات الحرارة سوف تتغير مع الوقت ومعامل الأداء المبنى على أداء لمدة طويلة متكاملة يوفر مؤشر مناسب للأداء. الضخ لزيادة محلول الامتصاص يمكن أن يكون بواسطة وسائل ميكانيكية أو بواسطة مضخات الرفع بالبخار فى المولد للنظم ذات الضغط المنخفض مثل نظام (LiBr-H₂O) يتطلب ماء تبريد للماص وللمكثف. النظم من هذا النوع المبينة فى الشكل (3/13) كانت أساس معظم الخبرة اليوم بالتكييف الشمسي للهواء.

المبردات المستخدمة في معظم التجارب الآن هي ماكينات ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$) حيث الماص والمبرد بتبريد المياه. الضغط في المكثف والمولد يتم تثبيته إلى حد كبير بواسطة درجة حرارة مبرد المائع المكثف وكذلك بالهبوط في درجة الحرارة خلال أسطح الانتقال الحراري في المولد والمكثف. الضغط في المبخر والمكثف يتم تثبيته بدرجة حرارة مائع بالتبريد للماص وبهبوط درجة حرارة عبر أسطح الانتقال الحراري في المبخر والماص. لذلك، للمحافظة على درجة حرارة المولد خلال الحدود المحددة بواسطة خواص مجمع اللوح المستوى، معاملات التصميم الحرجة ومعايير الأداء تشمل تأثير المبادلات الحرارية ودرجة حرارة المبرد. في الأداء العادي من التجارب الشمسية تم استخدام ماصات تبريد الماء ومكثفات، والتي بالتالي تتطلب برج تبريد.

معظم الماكينات المستخدمة حالياً لها تقريباً معامل أداء ثابت (نسبة التبريد المنتج إلى الإمداد بالطاقة إلى المولد) مع تغير درجة حرارة المولد خلال مجال العمل طالما أنه فوق أدنى قيمة.

معامل الأداء لمبردات ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$) يكون عادة في المجال من 0.6 إلى 0.8. تأثير التغير في إمداد درجة الحرارة بالطاقة الشمسية إلى المولد هو لتغير إمكانية المبرد. الماء يستخدم كمبرد، ودرجات حرارة المولد يمكن أن تكون في المجال من 75 - 95 °م.

معظم مساحات مشاكل نظام استخدام الشمس لمبردات ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$) تشمل الآتي: إمداد درجات حرارة للمائع إلى المولد يجب أن تكون أعلا من درجات حرارة المولد. يوجد انضغاط بين الإمداد بدرجات الحرارة المطلوبة والحدود العليا لدرجة الحرارة عند 100°م لخزانات حفظ الماء الغير مضغوط. العمل عند 100°م يكون صعباً مع كثير من أنواع المجمع، خاصة مجمعات اللوح المستوى. يلزم أبراج تبريد في تلك النظم.

التجارب السابقة على العمل الشمسي لمبردات ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$) استخدمت ماكينات تجارية 3 إلى 5 طن بدون تطوير كبير للتجارب الشمسية. قريباً، ثم تطوير المبردات المصممة لإمداد الطاقة الشمسية إلى المولدات. ثم تطوير المبادلات الحرارية لخفض الهبوط في درجة الحرارة، ثم خفض الغمر في المولدات إلى أدنى ارتفاع في درجة حرارة غليان المحلول بسبب الضغط الرأسية للمحلول والظلمبات الميكانيكية تم استخدامها بخلاف ظلمبات الدفع بالبخار. تلك التطويرات قد كان لها تأثير على تحسين معامل الأداء مع خفض متطلبات درجة حرارة المولد.

مبردات الامتصاص في مشروعات الطاقة الشمسية الحالية يتم تصميمها لاستخدام درجات حرارة منخفضة حتى 80°C . بهدف المحافظة على التأثيرات المناسبة عند درجة الحرارة العالية، فإن المجمعات يجب :

- 1- يتم بناءها لتتحمل الضغوط العالية خلال النظام.
- 2- لها ألواح تغطية خاصة شفافة التي تسمح بأعلا كمية من الإشعاع الساقط، لذلك تتم التغطية الخاصة بخفض إشعاع الطاقة في شكل حرارة.
- لها ألواح امتصاص من معدن عالي النوعية مثل النحاس، مع الطلاء الانتقائي الخاص لزيادة الامتصاص وخفض الانبعاث (إشعاع الحرارة) في كثير من الحالات، كذلك، يجب أن يكون الجامع ضخماً لنظام التبريد الصيفي مقارنة بنظام التدفئة الشتوية.

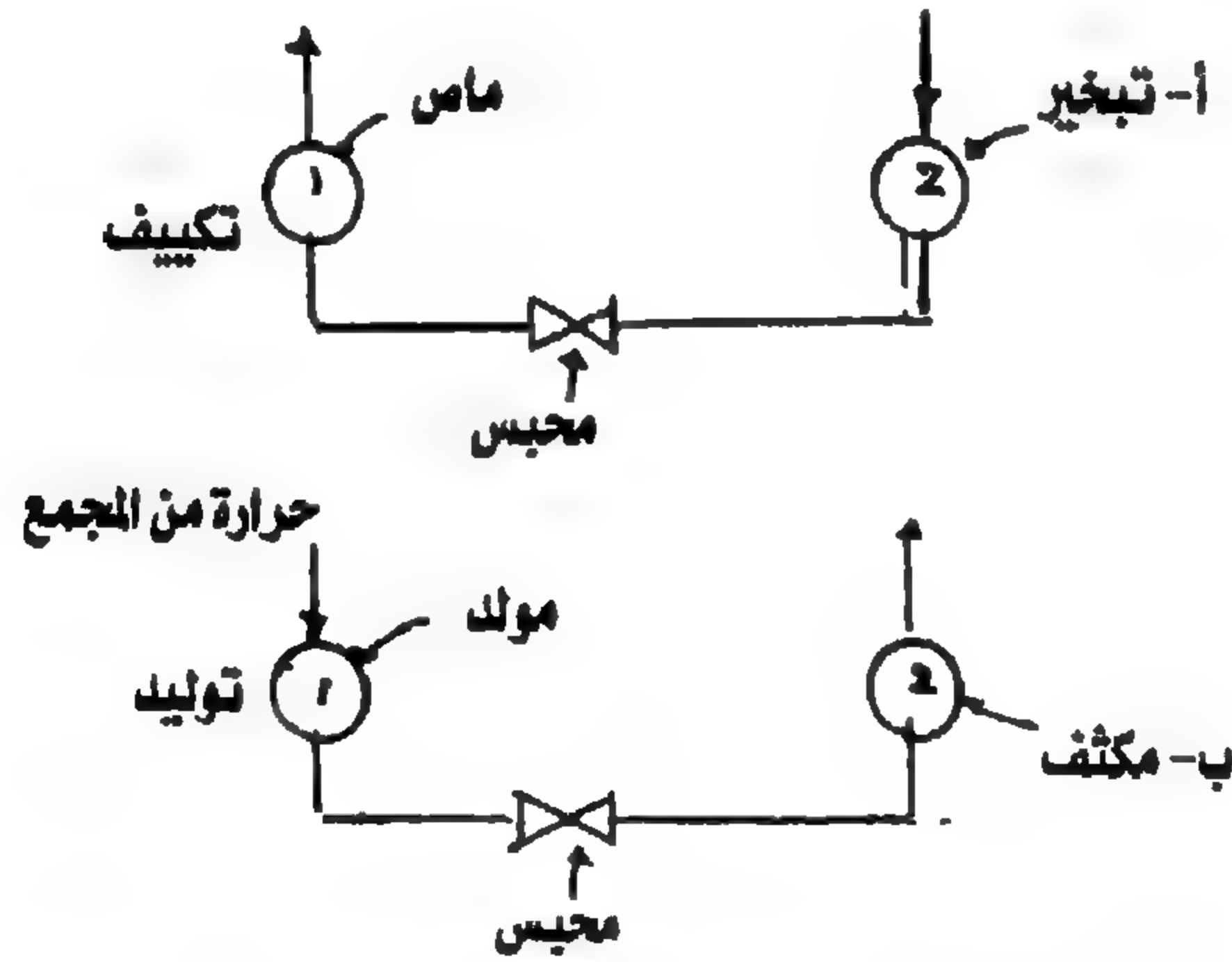
2- مبردات ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$)

المخطط لمبرد الأمونيا - الماء يشبه لذلك في الشكل (13/3) على أن قطاع التقطير يجب أن يضاف إلى قمة المولد لخفض المحتوى من بخار الماء لتدفقات البخار نحو المكثف. عمليات الحل الأساسي تشبه لتلك لنظام $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ عدا أن الضغوط وفروق الضغط أعلا كثيراً. يلزم طلبات ميكانيكية لعودة المحاليل من الماص إلى المولد. في كثير من التطبيقات يتم التبريد الهوائي لكل من المكثف والماص، مع درجات حرارة المولد في المجال من 125°C - 175°C . في التطبيقات حيث يستخدم مياه التبريد، فإن درجة حرارة المولد يمكن أن تكون في المجال من 95°C - 125°C .

يوجد عمل قليل تم نحو الأداء التجريبي لنظم ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) بالطاقة الشمسية. درجات حرارة المولد المطلوبة في المبردات التجارية المتاحة حالياً باستخدام المكثفات والماصات بتبريد الهواء عالية الارتفاع بالنسبة لمجمعات اللوح المستوى الحالية. يمكن تناول طريقتين في هذه المشكلة. زيادة مجال درجة الحرارة لعمل المجمعات أو خفض درجة حرارة مولد المبرد. تم توجيه العمل نحو نظام ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) نحو تطوير الدورات باستخدام تراكيزات أعلا من NH_3 ومكونات عالية التأثير لخفض متطلبات درجة حرارة المولد. تطوير المجمعات مثل المجمعات الأنبوبية المفرغة، مركبات القطع المكافئ المركب أو أي مجمعات تراكيزات بؤرية أخرى أو مجمعات اللوح المستوى ذات التصميم الجيد بالماص الانتقائي والأغطية ذات الانعكاس المنخفض - في هذه الحالة، يمكن توفير وسائل جديدة لتخزين الطاقة في المجال من 100°C - 175°C .

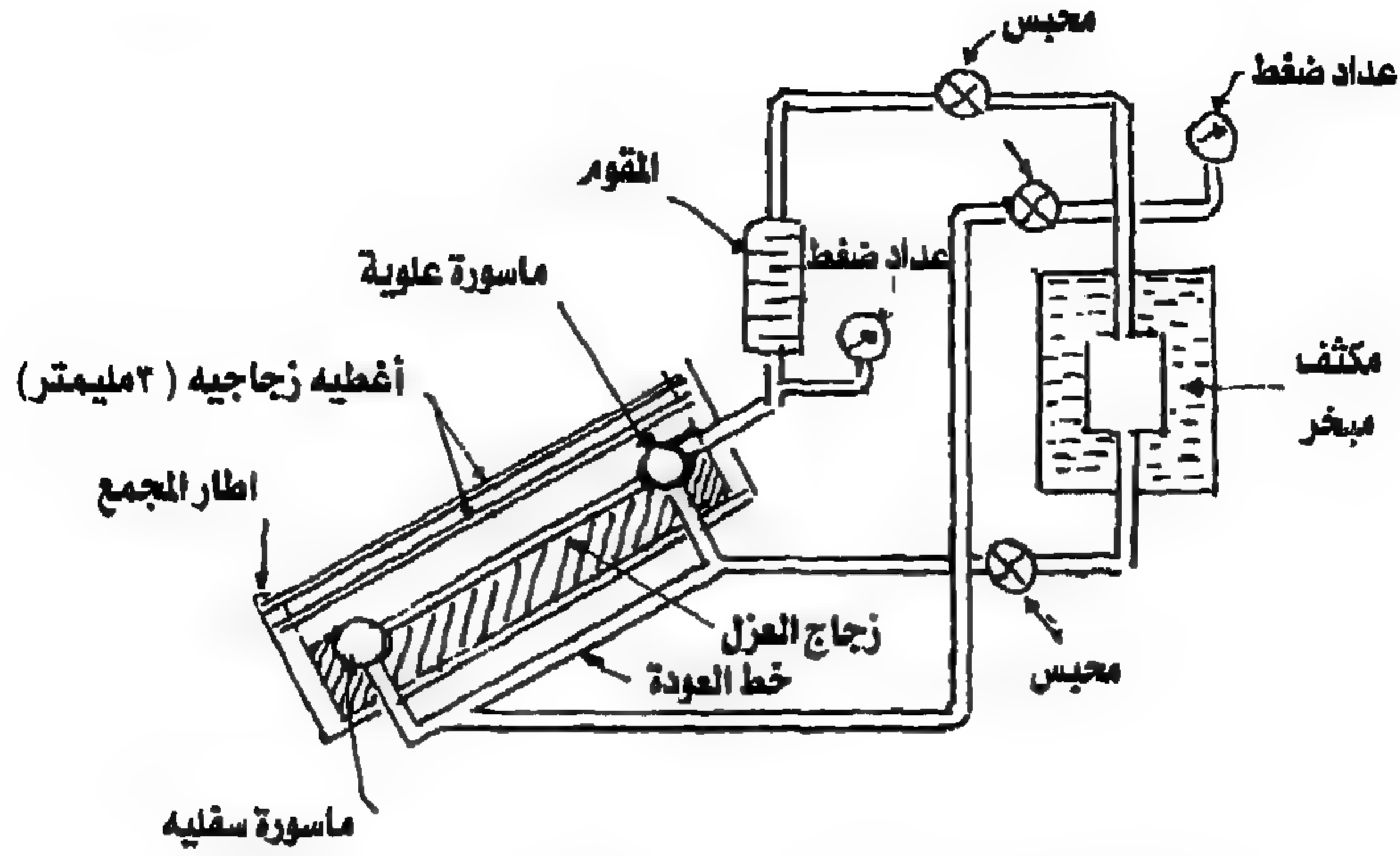
3- التبريد المتقطع بالامتصاص: Intermittent absorbion cooling

يمكن أن يكون البديل للنظام المستمر. الأداء المحدود على هذه النظم تم توجيهه نحو حفظ الطعام وصناعة الثلج. الماص البسيط والمبردات بالمص تعمل عملها بطريقة متقطعة وليست في دورة. في دورة التقطير للمبرد من الامتصاص تحدث خلال مرحلة إعادة التوليد للعملية والمبرد يتم تكثيفه وتخزينه. خلال جزء التبريد من الدورة، فإن المبرد يتم تبخيره وإعادة امتصاصه. توجد وعائين متصلين في الشكل (13/4) يعملان بالتبادل كمجموعة من الماص والمبخر. يتم أولاً التسخين للوعاء (1) بواسطة الطاقة الشمسية، حيث يرتفع ضغط البخار للمبرد الذي يمر عند ضغط ثابت إلى الوعاء (2) حيث يتكثف. يستمر هذا حتى وصول تركيز المبرد في (1) وهبوطه إلى القيمة التي عندها ضغط البخار يساوي قيمة التشبع المقابلة لدرجة حرارة المكثف. عندئذ عندما يكون المحبس مغلقاً فإن النظام يمكن أن يستمر حتى المطلوب في حالة الشحن ويمكن أن يتحرك إلى لوح آخر. عند إعادة فتح المحبس فإنه تحدث عودة للمبرد إلى (1) بواسطة محلوله في الماص ويحدث التبخير في (2) عند درجة حرارة منخفضة، محددة بواسطة الضغط المنخفض.



شكل (4/13) مخطط لمبرد امتصاص متقطع

مجموعة المبرد الماص المستخدمة في هذا النظام هي الأمونيا - الماء ($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$) وكذلك أمونيا صوديوم ثيوسيانيت ($\text{NH}_3 - \text{Na SCN} - \text{Amonia sodium thiocyanate}$). في النظام الأخير يستخدم محلول الصوديوم ثيوسيانيت كماص، والأمونيا كمبرد. نموذج لنظام التبريد المتقطع بواسطة الأمونيا - الماء موضح في الشكل (5/13).



شكل (5/13) مخطط لمبرد النشادر - الماء المتقطع

تم دراسة نظام الأمونيا - الماء والأمونيا - صوديوم ثيوسيانيت بواسطة العالم (Swart man). نظام الأمونيا-الماء ثبت أنه له معامل أداء من 0.5 إلى 0.14 طبقاً للأداء اليومي. نظام الأمونيا ثيوسيانيت بالإضافة إلى ميزة عدم الحاجة إلى تقطير ثبت أنه ذو معامل أداء أعلا من 0.11 إلى 0.27 ولكن مشاكل التآكل مع الأخير كثيرة وأكثر حدة. النظم ذات مواد الامتصاص الصلبة مثل الماء- الزيلوليت تم دراستها حيث استحق درجات حرارة تشغيل أدنى في المجال من 60 إلى 80° م ومعامل أداء عالي في المجال من 0.3 إلى 0.4. الانتقال الحراري والمادي المؤثر من وإلى الزيلوليت هو مشكلة عملية والتي تباع لمجمعات خاصة ومبخرات التكثيف.

رغم حقيقة أنه ليست هناك حاجة لطاقة أخرى (كهربية أو ميكانيكية) فإن النظم المتقطعة ليس لها قبول عموماً بسبب الآتي:

- 1- التبريد متاح فقط خلال الليل حيث لا تكون له حاجة عموماً (لتبريد الهواء).
- 2- معامل الأداء منخفض جداً بما يتطلب مساحات كبيرة للمجمعات حتى للحصول على طاقة تبريد معقولة.

أ- كفاءة التجميع للطاقة المنخفضة بسبب تسخين المحلول بواسطة السيفون الحراري (Thermosyphon) ومعاملات الانتقال الحراري بالحمل الحراري تكون صغيرة.

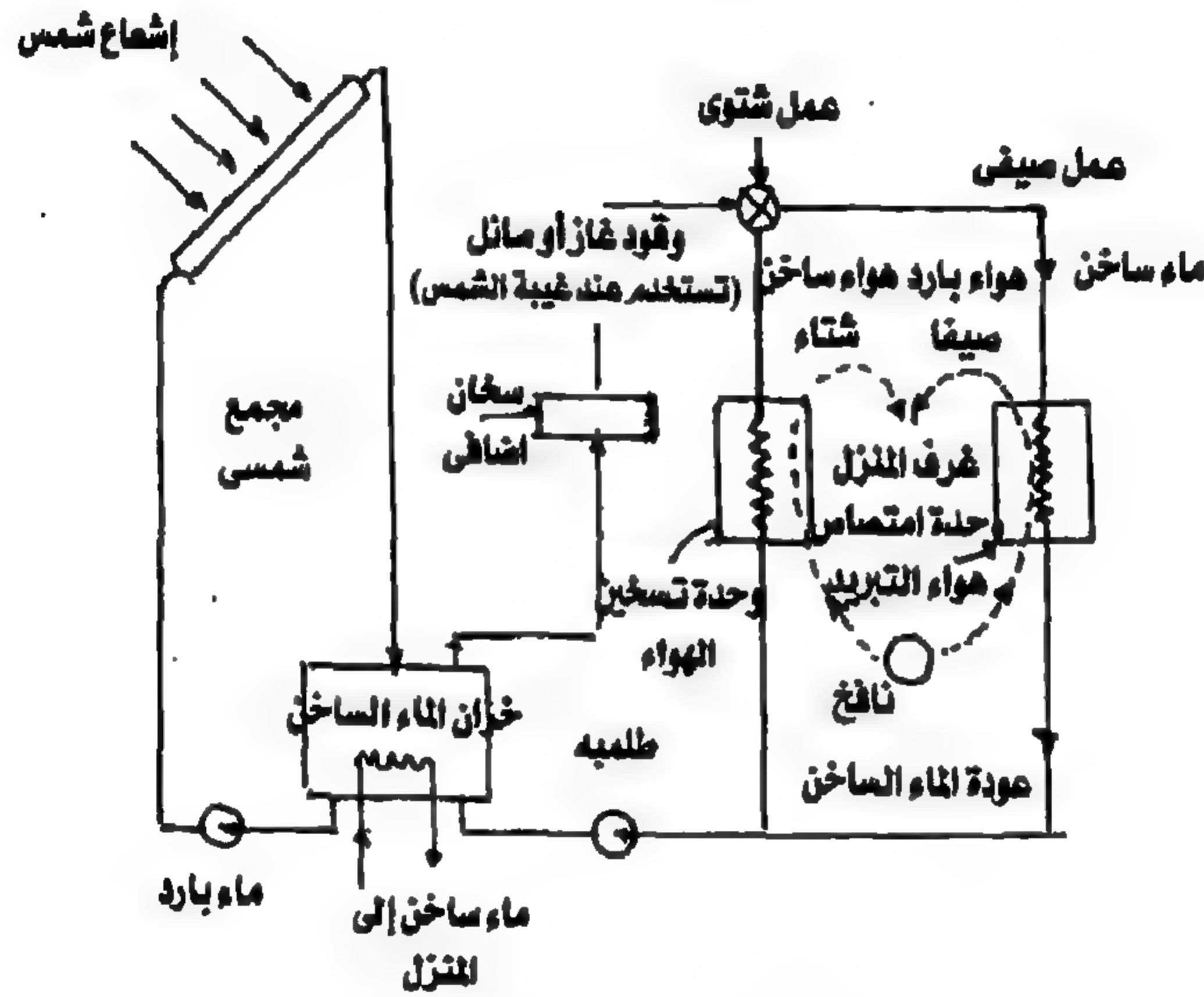
ب- لا يوجد تحكم في معدلات التسخين العالي ودرجات الحرارة.

ج- مجمع كمية كبيرة من الحرارة خلال اليوم يتم فقدها حيث أن كل النظام والمحلول يتم تبريده خلال الليل (ليس مثل النظام المستمر الذي فيه يتم استخدام المبادل الحراري لاستعادة الحرارة من المحلول الضعيف ونقلها إلى المحلول القوي).

النظم المشتركة لنظم التدفئة والتبريد الشمسية :

Combined solar Heating and cooling systems:

الشكل (6/13) يوضح النظام المشترك الذي هو أرخص من كل من التدفئة والتبريد فقط مع إمكانية الاستخدام في كل من الصيف والشتاء.



الشكل (6/13) نظام مشترك للتدفئة والتبريد الشمسي

الاعتبارات الاقتصادية لتصميم المنشأ وعمل نظم التدفئة الشمسية والتبريد الشمسي يجب أن تبنى على عدة عوامل هامة. المقادير النسبية لأحمال البرودة في الصيف والتدفئة في الشتاء لهما أهمية. يجب ملاحظة أن مكيفات الهواء من نوع الامتصاص أكثر تكلفة مقارنة بمكيف الهواء الميكانيكي. لذلك، فإنه في المناخ البارد عندما تكون أحمال التبريد الصيفي صغيرة، فإن معامل استخدام مكيفات امتصاص الهواء ستكون منخفضة. هذا سوف يؤدي إلى ارتفاع التكلفة التبريد الشمسي.

العوامل الهامة الأخرى تشمل ظواهر تصميم المبنى، خواص الأداء لنظم التسخين والتبريد مثل معامل الأداء لمبرد الامتصاص، قد يؤثر الأهمية النسبية لكلا المتطلبين.

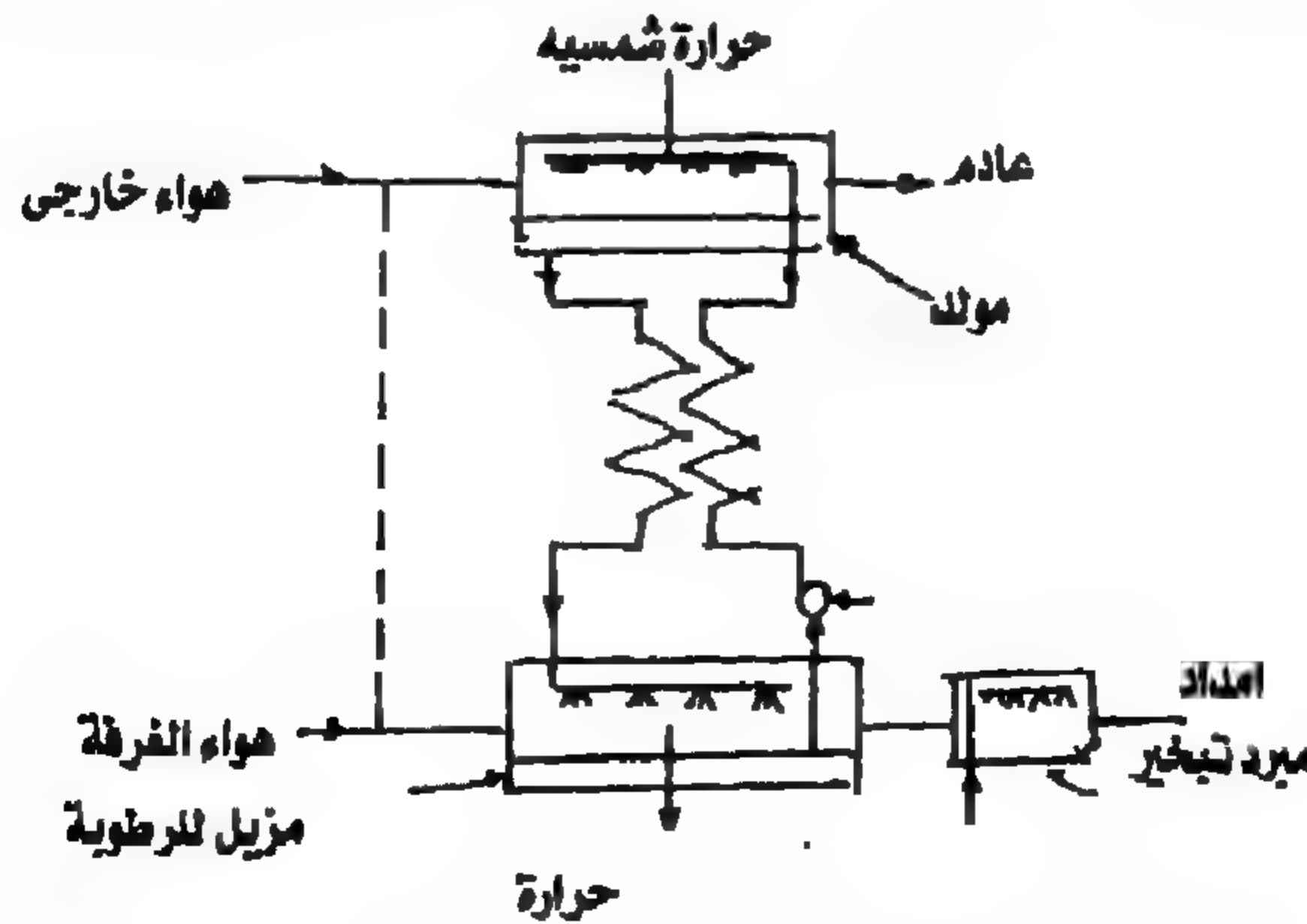
كذلك فإن مكان تخزين الطاقة له أهمية. يجب ملاحظة أنه في حالة المكان داخل المبنى فإن الفقد الحرارى من التخزين سوف يسبب حمل خفيف خلال الصيف ويكون مكسب في التدفئة الشتوية. المثل إذا كان الجامع مكوناً جزء من غلاف المبنى فإن الفقد الخلفى من المجمع سوف تنتج حمل إضافى خلال الصيف وتكتسب في الشتاء حالياً، لنظام التصميم، أفضل طريقة هي للنمذجة (Model) في الجو الواقعى وتحميل أفضل تصميم للنظام من ناحية الأداء الحرارى والتكلفة المقررة.

نظم التبريد بالدورة المفتوحة : (Open cycle cooling systems)

أ- إزالة الرطوبة : (Dehumidification)

لعمل نظام تكييف الهواء، فإن الهواء الرطب نفسه يمكن أن يساهم في الدورة، كما هو موضح في الشكل (7/13). تزال الرطوبة من الهواء بواسطة ماص صلب مثل السيليكا - جيل أو ماص سائل مثل محلول كلوريد الليثيوم، إيثيلين جليكول، أو بروميد الليثيوم. يتم التخلص من حرارة الامتصاص أو المحلول ثم تبريد الهواء بواسطة مبرد التبخير. عندئذ يتم استخدام الحرارة لإعادة تكوين الماص بطرد الرطوبة إلى تدفق الهواء الخارجى. نظم إزالة الرطوبة مع إعادة التوليد بالطاقة الشمسية قد استخدمت كلا من مزيل الرطوبة الصلب والسائل.

من المناسب استخدام الماصات لإزالة الرطوبة من الهواء، ولكن يكون من الصعب التبريد بسبب ضعف توصيلهم الحرارى. ارتفاع درجة حرارة الامتصاص تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة إعادة التوليد وانخفاض كفاءة المجمع الشمسى. كذلك بسبب ضعف التوصيل الحرارى للماصات يكون من الصعب استعادة الطاقة المستخدمة لرفع درجة الحرارة للماصات من درجة حرارة الامتصاص حتى درجة حرارة إعادة التوليد. محاليل الامتصاص على الجانب الآخر، يمكن تبريدها في المبادلات الحرارية.



شكل (7/13) محلول المبرد بإزالة الرطوبة

ب- نظم التبريد ببخار الماء: Water vapour cooling systems

هذا النظام يستخدم غرفة الوميض (Flash) لبخار الماء لتبريد الماء. البخار المتكون في غرفة الوميض يتم إزالته كماء حيث السائل المجفف يمتص بخار الماء. يتم ضخ السائل المجفف إلى المجمع الشمسي خلال المبادل الحراري. يتم تبريد الماص بواسطة لفة مواسير التبريد. الماء البارد في غرفة الوميض يتم تدويره خلال مبادل حراري من الهواء إلى الماء، حيث يتم إمداد الهواء للمبنى يتم تبريده. نظراً لأن بعض الماء يتبخر في غرفة الوميض فإن الوصلات للتعويض تكون مطلوبة للماء.

الطرق الطبيعية لتكييف الهواء:

التكييف الطبيعي للهواء يعتمد على نظم التبريد أو التكييف لا يتم استخدامها لتكييف الهواء. التبريد بالإشعاع الليلي و/أو تبخير الماء بواسطة التخزين المناسب للماء يمكن أن يوفر حالات الراحة في الصيف طالما أن الرطوبة في الهواء الجوي لا تزيد عن تلك اللازمة داخل الغرفة. العديد من الطرق الطبيعية لتدفئة وتبريد الفراغ تم تطويرها في أماكن مختلفة من العالم. تلك تشمل مبردات إعادة توليد التبخير (Regenerative Evaporative coolers).

أ- نظم التبريد بإعادة توليد التبخير:

أجهزة التبريد في الصحراء المستخدمة للتبريد بالبخار بدون التبادل الحراري للهواء تستخدم كثيراً في المناخ الجاف الساخن. ولكن، عندما يكون الهواء الجوي له تقريباً نفس المحتوى من الرطوبة لتلك المطلوبة في الهواء المكيف، فإن مبرد التبخير البسيط لن يكون مؤثراً. يجب تبريد الهواء بدون زيادة رطوبته. تبريد تدفق هواء بإزالة الرطوبة وتدفق الهواء الثاني باستبدال الحرارة المحسوسة حيث يستعمل مع تيار الهواء الأول مبادل حراري دوار لإعادة التوليد.

ب- The sky thermssystem

لقد أقر كلا من (H. R. Hay and Yellot) النظام الفعال للتدفئة لتنظيم التدفئة والتبريد الشمسي. وهو يتضمن التدفئة الفراغية بالطاقة الشمسية في الشتاء والتبريد بالإشعاع للمناخ الليلي وتبخير الماء في الصيف مصاحب لامتداد الماء بين السقف والعزل المتحرك. النظام قادر على مقابلة أنواع مختلفة من الجو مع الوسائل المختلفة لمرجحة الحالات الطبيعية، التدفئة الشمسية، طاقة الحرارة، الإشعاع الليلي، تبخير المياه.. الخ. مثل النظام الذي كان تحت الاختبار في أريزونا.

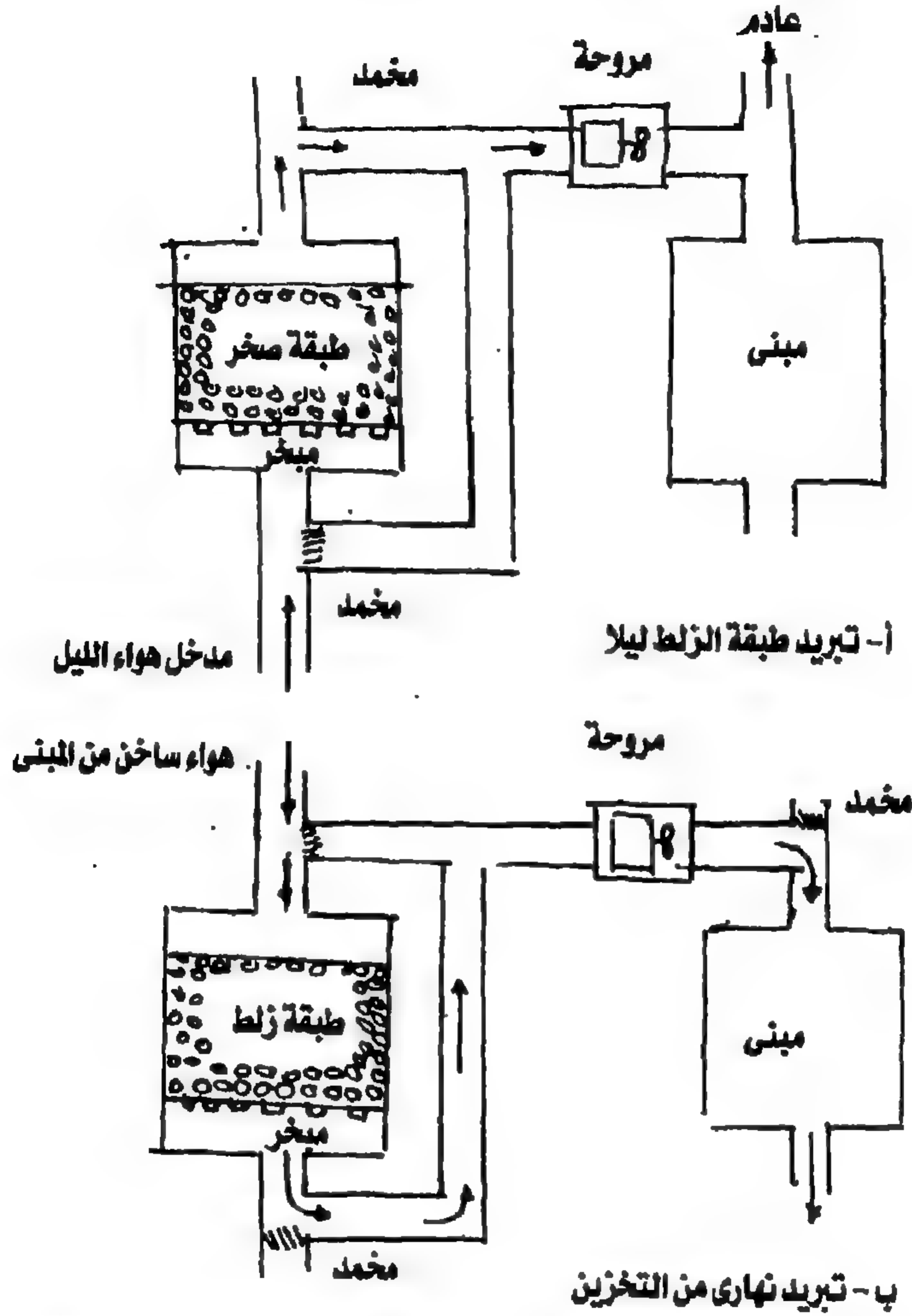
خلال فصل الصيف الماء المحتوى فى أوعية بلاستيك فى برك السقف (Ceiling ponds) يتم تبريده بواسطة الإشعاع الليلي (Nocturnal radiation). إذا كان التبريد بالإشعاع ليس كافياً، فإن الأوعية البلاستيك يتم فتحها، بسبب تبخر المياه فى هواء الليل، يوجد هناك تبريد إضافي. خلال وقت النهار، ويتم تحريك العزل فوق بركة الماء فى السقف ومنع التسخين لتلك الوصلات من أعلا. لذلك فإنه يوجد انتقال حرارى من الغرفة إلى البركة (Pond). البركة تظل عند درجات حرارة دون درجة حرارة الجو خلال اليوم. عند درجات حرارة الجو عند 37°C ونقطة الندى 15°C - 20°C (درجة حرارة البصيلة الرطبة ما بين 22°C و 25.5°C)، فإن التبخر عنوة للماء من البرك باستخدام نافخ يصبح ضرورياً لاستمرار درجة حرارة 27°C فى الغرفة. خلال فصل الشتاء، تكون البرك مغطاة بالبلاستيك الشفاف لمنع التبخر وبذا يتم التسخين بالتعرض لضوء الشمس فى وقت النهار. يتم تغطية البرك بواسطة العزل المتحرك ليلاً. درجة حرارة الغرفة أعلا من 22°C يتم المحافظة على استمرارها مع درجة الحرارة خارج المنزل عند 5°C .

ج- نظام الصخر الأسترالى : (Australian Rock system)

يتكون النظام من طبقة ضخمة من الصخر. يتم تبريد طبقة الصخر بسحب الهواء البارد خلال الليل خلالها. أثناء النهار، يتم تبريد الهواء الساخن الدوار بسحبه خلال تلك الطبقات. تعزيز التبريد يمكن الحصول عليه بسحب الهواء الليلي خلال سطح مسامى له قدرة انبعاث عالية بحيث أن الإشعاعات خلال الليل يزيد من برودتها. مثل هذا النظام مناسب للأجواء حيث التغير اليومي فى درجة الحرارة يكون كبيراً، كما فى حالة مناخ الصحراء حيث الفرق بين درجة حرارة النهار والليل قد يصل إلى 25°C . استخدام طبقة الحبيبات الزلطية لتوفير التخزين للطاقة لكل من التدفئة والتبريد تم وصفه بواسطة (Dunkle). الدورات الموضحة فى الشكل (8/13) توضح عمل الطبقة الزلطية عند استخدامها فى التبريد.

التبريد بالتبخير يمكن كذلك استخدامه لتحسين التبريد. فى الليل، الهواء البارد خارج المنزل يتم تبريده بالتبخير قبل المرور خلال الطبقة الزلطية شكل (8/13-أ). لذلك يتم تبريد الهواء إلى درجات حرارة منخفضة. خلال وقت النهار اتجاه تدفق الهواء يتم انعكاسه ويمر خلال الطبقة الزلطية الشكل (8/13-ب). مثل هذا النظام مناسب للمناخ حيث سماء الليل تكون صافية وتكون الرطوبة منخفضة، كما فى الصحراء.

هذا النظام ليس فعالاً كنظام تبريد شمسي، رغم استخدامه لطبقة الحبيبات الزلطية المستخدمة كذلك في نظم التدفئة الشمسية.



شكل (13/8) تشغيل التخزين الحراري (طبقة الزلط) كمصدر لتكييف الهواء



الفصل الرابع عشر

التوليد الشمسي للطاقة
الحرارية

**Solar Thermal Power
Generation**

1 - مقدمة :

يوجد نوعين أساسيين من الطاقة التي يمكن تحويل الإشعاع الشمسي إليهم للاستخدامات العملية. أحدهما هو الحرارة والآخر هو الكهرباء. الحرارة يتم الحصول عليها عند امتصاص الإشعاع الشمسي بواسطة سطح أسود. هذه الحرارة يمكن عندئذ أن تستخدم في طرق كثيرة والتي يمكن تقسيمها إلى قسمين.

الاستخدامات الحرارية المباشرة مثل تسخين الماء، التجفيف، التقطير، الطهي، الخ. والاستخدامات التي تتضمن القانون الثاني للديناميكا الحرارية مثل إنتاج طاقة ميكانيكية والتبريد.. الخ. نظام إنتاج الطاقة الميكانيكية هذا يسمى نظام إنتاج الطاقة لحرارية. بالنسبة لتحويل الطاقة الشمسية إلى الطاقة الكهربائية فإنه يمكن عمل ذلك بواسطة إنتاج الطاقة الحرارية أو التحويل المباشر للإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية. في التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى الكهرباء فإنه يمكن استخدام الفولتية الضوئية (Thermo ionic, Thermo electric, Photovoltaic, photochemicals).

توليد الطاقة الحرارية بالطاقة الشمسية يستخدم دورات طاقة (Power Cycles) التي تنقسم إلى الدورات ذات درجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة والمرتفعة. دورات درجة الحرارة المنخفضة تستخدم عموماً المجمعات ذات اللوح المستوى حيث أن أقصى درجة حرارة تكون محدودة عند حوالي 100°C . دورات درجة الحرارة المتوسطة عند أقصى درجات حرارة تتراوح من 150°C - 300°C ، بينما دورات درجة الحرارة المرتفعة تعمل عند درجة حرارة أعلا من 300°C .

بالنسبة لمجالات درجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة تكون الدورات الحرارية الديناميكية (Thermodynamic) المفضلة هي دورة (Rankine). بالنسبة لمجال درجة الحرارة المرتفع بخلاف دورة (رانكن)، فإن دورات (Brayton, Stirling) هما المستخدمتين.

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية بواسطة مجمعات اللوح المستوى أو البؤري (Focusing). الطاقة الحرارية تلك عندئذ وكمبدأ تستخدم لتشغيل محرك حراري (Heat Engine) الذي يحول الطاقة الشمسية إلى طاقة ميكانيكية. المشكلة الأساسية تبدو من حدود درجة الحرارة للمجمعات الشمسية، نظام الإمداد بالطاقة الشمسية يعمل جيداً عند درجات الحرارة المنخفضة، بينما المحرك الحراري يكون أكثر كفاءة عند مدخلات الطاقة عند درجات الحرارة العالية. المشكلة حادة من الناحية العملية مع مجمعات اللوح المستوى والتي هي الآن محدودة باعتبارات عملية لإنتاج

الطاقة ربما 100° م أعلا من درجة الحرارة العادية وهذا بالتالى، ينتج انخفاض فى الكفاءة الحرارية للمحرك الحرارى.

المجمعات البؤرية (التركيز Focusing) التى توفر طاقة عند درجة حرارة أعلا ليست تجهيزات عملية. فى مثل هذه الظروف فإن التكاليف المستهدفة للطاقة الميكانيكية (أو الكهربائية) من الطاقة الشمسية لم تظهر قبول.

المحاولات التجريبية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية تمت منذ عام 1955. لقد قام (Hottel) بعمل تحليل لتوليد الطاقة باستخدام مجمعات اللوح المستوى ذات انعكاسية منخفضة وأغطية زجاجية ذات امتصاص ضعيف، ومحركات حرارية تعمل ما بين 150° إلى 38° م . وهناك أبحاث كثيرة فى هذا المجال.

وخاصة باستخدام القطع المكافئ الأسطوانى كمجمع بؤرى.

تقنيات نظام الطيف الشمسي للطاقة الحرارية يتراوح من غير متتبع (Non Track) لنظم درجة الحرارة المنخفضة لتحويل الطاقة إلى مجمعات تركيز النقطة البؤرية (القطع المكافئ) المبنى على نظام درجة الحرارة العالية حيث يوفر تدفقاً عالى الكثافة إلى نظام تحويل الطاقة الكفو.

يوجد نوعين من نظم التجميع الحرارى وتوليد الطاقة

1- النظام المركزى (مفهوم البرج).

2- النظام المنشر (مفهوم الحقل).

النظام المنتشر له العديد من المتغيرات وعموماً يتميز عن النظام المركزى كالتى:

أ- الطاقة من كل من الرقم المنفرد للمستقبلات (Discrete Number of the Receivers) يتم جمعها إما فى الشكل الحرارى أو الشكل الكهربى .

ب- مستقبلات (Receivers) للنظام المنتشر يمكن عموماً تحريكه طبقاً لآلية تتبع الشمس المستخدمة.

الحقل الشمسي يكون أساساً بهدف الإمداد الغير مركزى لعملية الحرارة والكهرباء فى المجال عدة مئات قليلة إلى آلاف قليلة من الكيلوات على التوالى. يوجد تخطيط لهوائى مجمعات التركيز لتتبع الشمس. هنا يكون متصل مع كل وحدة مجمع عدد من المحركات الصغيرة عند نقطة بؤرية، وإجمالى الخرج يتم تجميعه. فى النظام البرجى، يوجد حقل من المتتبع الشمسي (الذى هو عبارة عن مرآة دوارة لتركيز أشعة الشمس فى مكان واحد Heliostat) يقوم بتركيز الإشعاع الشمسي الساقط مباشرة على المستقبل المركزى المركب على قمة البرج. مائع الانتقال الحرارى (مثل Hytherm 500)

يزيل الحرارة من المستقبل وفي بعض الحالات يحملها إلى وحدة تخزين حراري أخرى. هذا الانتقال الحراري يستخدم لتشغيل محطة طاقة كهربائية.

الحرارة المنتجة في مختلف الطرق تتوقف على نسبة التركيز والفقد الحراري في النظام ودرجة حرارة سائل التشغيل (Working fluid) تتوقف على عدد درجات التتبع لحركة المركبات. ميزة نظام الحقل (Farm concept) مقارنة للنظام المركزي هو أنه يشمل مظهر التغيير ولذلك يوجد احتمال اقتراب خفض التكلفة بسبب الإنتاج الوفير للعديد من الوحدات المشابهة.

وهو يوفر كذلك ميزة الصيانة والمسافات البعيدة (Over hauling). كذلك يمكن توليد الطاقة الحرارية الشمسية باستخدام نظام حوض القطع المكافئ (المجمعات الأسطوانية ذات القطع المكافئ). تلك المجمعات تتكون من حوض له مقطع القطع المكافئ الذي يركز الإشعاع الشمسي على أنبوب الامتصاص الموضوع عند بوابة القطع المكافئ. بواسطة السائل الدوار، يتم إزالة الحرارة من أنبوب الماص الساخن التي تكون مغطاة بطبقة طلاء مناسبة إما بواسطة الطلاء الأسود العادي أو بطلاءات مختارة، ويمكن إحاطة في أنبوب مفرغ شفاف لخفض الفقد الحراري بالحمل الحراري. في هذه الحالة فإن مجال درجة حرارة المائع قد تصل إلى 400°C . هذا المائع الساخن يتم عندئذ استخدامه لتوليد الطاقة أو لأغراض أخرى. عموماً محرك دورة رانكن العضوية (Organic Rankine Cycle) أو تربين البخار أو محرك البخار يمكن استخدامه في إنتاج الطاقة.

في النظام المنتشر لتوليد الطاقة تم إدخال نظام (Hybrid). في هذا النظام يتم تسخين مائع التشغيل بواسطة الطاقة الشمسية إلى أقصى ما يمكن بواسطة نظام المجمع الشمسي ذو الكفاءة العالية والاعتمادية ومنخفض التكاليف ثم يتم زيادة درجة حرارة مائع التشغيل باستخدام الوقود التقليدي إلى المستوى المطلوب بحيث أن نظم تحويل الطاقة المستخدمة في محطة الطاقة التقليدية يمكن الاستفادة منها والتكلفة الكلية يمكن خفضها والحصول على خدمة يعتمد عليها. عموماً يستخدم نظام مجمع الحوض ذو القطع المكافئ في نظام (Hybrid) لإنتاج الطاقة (Hybrid = خليط هيدروكربوني بترولي).

في نظام برج التركيز الشمسي، يتم تركيز الإشعاع الشمسي القادم في مستقبل مركزي أو غلاية مركبة على برج طويل باستخدام الآلاف من العاكسات المستوية التي تدور حول محورين ويسميا (Heliostats) أي المتتبعات الشمسية أو المرآة الدوارة التي تعكس أشعة الشمس في اتجاه واحد.

محطة الطاقة الحرارية بقدرة 50 كيلوات تم بناءها وتشغيلها في إيطاليا باستخدام المرايا. من بين واحدة من أكبر محطات الطاقة الشمسية في العالم التي بدأت إنتاجها عام 1979 عند (Dire) وهي مدينة على شواطئ نهر النيجر. استخدامها سوف يكون لتوليد الكهرباء، الري، الضخ للمياه، التبريد.

النتائج الحالية أظهرت أن الطاقة الشمسية يمكن أن تكون منافسة إلى حد ما للمصادر الأخرى للطاقة إذا كان محطة البرج الشمسي حوالى من 100 - 200 (MWe) ميغاوات معادل، مع 3 - 6 ساعات تخزين حرارى.

شركة أريزونا للخدمة العامة اقترحت بناء محطة طاقة بـ 175 متر مربع للمراة. عند غلاية المركز يتم تسخين خليط من كلوريد الصوديوم 60% ونترات البوتاسيوم 40% إلى درجة حرارة أعلا من 550°م وخليط الملح المنصهر يتم نقله إلى خزان الحفظ، يليه توليد البخار والتربين. المحطة سيكون لها القدرة على خدمة ما يعادل 370.000 برميل من الزيت فى العام.

خلال السنوات القليلة الماضية، تم بناء القليل من تجارب محطات الطاقة البرجية أو تحت الإنشاء فى الولايات المتحدة، فرنسا، إيطاليا واليابان. أضخم واحدة كانت فى نيومكسيكو. وقد كان لها هليوستات من 222 مرآة كل ذات 45 متر مربع، مقطعة إلى سطوح صغيرة بعدد 25 مرآة. السطوح الصغيرة (Facets) ذات تشكيل ميكانيكى بحيث أن الطاقة المنعكسة يتم تركيزها بؤريا. الهليوستات (Heliostats) يتم تركيبها ركوبة سمتيه ارتفاعية (Ultrazimuth). ويتم التحكم فى حركتها بواسطة الحاسب الآلى. مصفوفة الهليوستات قادرة على تركيز ما يزيد عن 5 مليون وات حرارى من الطاقة عند أفضل حالات الشمس، وحالات الهليوستات والغرض.

مبدأ توليد الطاقة الحرارية الشمسية:

Principle of solar thermal power generation:

فى نظام إنتاج الطاقة الحرارية الشمسية يتم أولا تجميع الطاقة باستخدام البركة الشمسية (solar ponds)، مجمع السطح المستوى أو مجمع التركيز البؤرى. هذه الطاقة تستخدم لزيادة الطاقة الداخلية أو درجة حرارة المائع. هذا المائع يمكن استخدامه مباشرة فى أى من الدورات المعروفة عادة مثل دورات (Stirling, Brayton, Rankine) خلال المبادل الحرارى لتسخين المائع الثانى (مائع التشغيل) والذى يتم استخدامه فى الدورة لإنتاج الطاقة الميكانيكية التى يمكن منها إنتاج الطاقة الكهربائية بسهولة.

سيتم مناقشة الثلاث نظم الآتية:

1- الدورات ذات درجة الحرارة المنخفضة باستخدام مجمع اللوح المستوى أو البركة الشمسية.

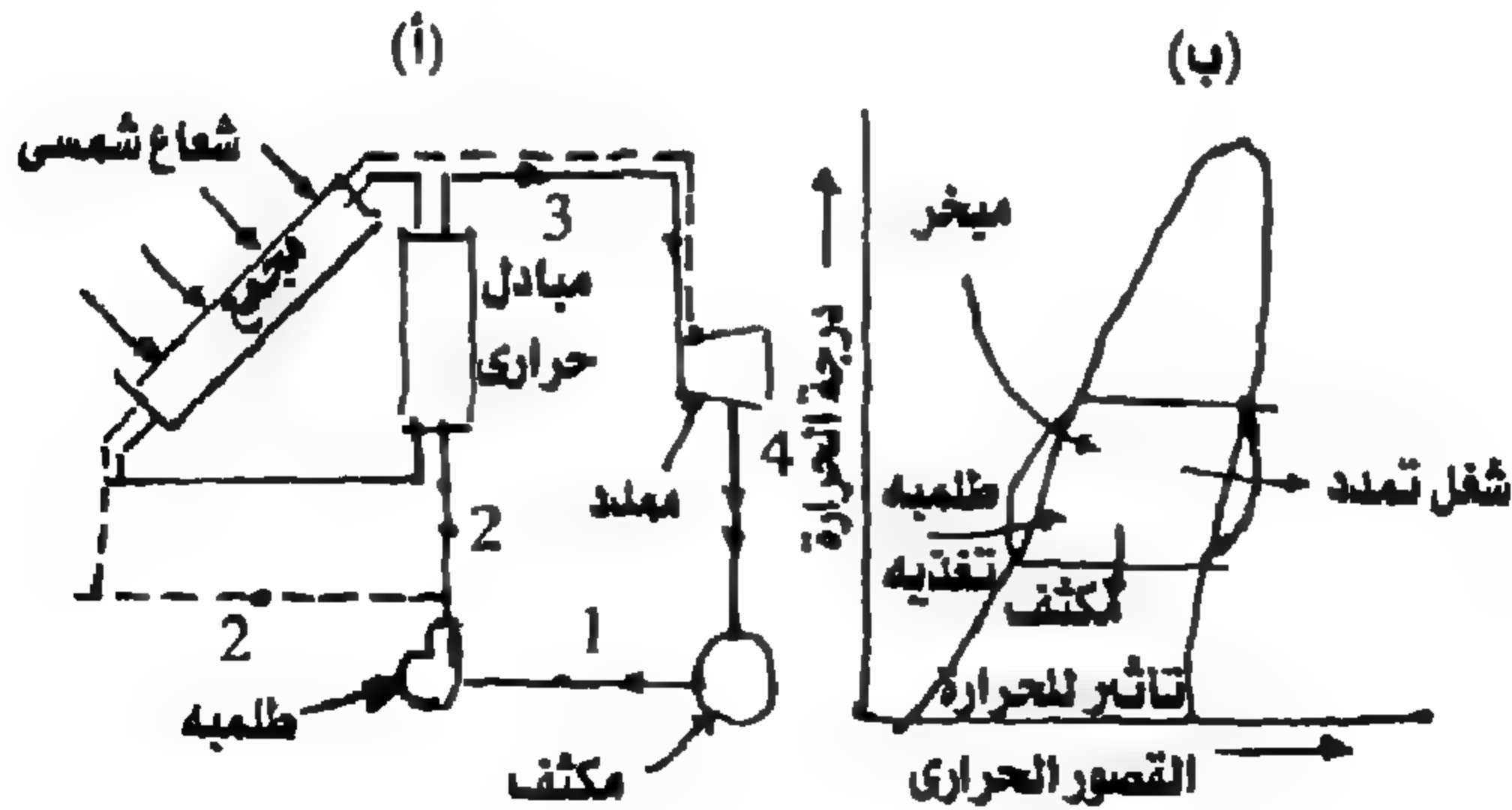
2- مجمعات التركيز لدورة . . . الحرارة المتوسطة والعالية.

3- نظام مفهوم برج الطاقة (Power Tower).

1- نظم درجة الحرارة المنخفضة:

يصنف كلا من اللوح المستوى والبركة الشمسية أنهما مجمعات درجة الحرارة المنخفضة ذلك لأن درجة الحرارة التي يمكن الحصول عليها هي ما بين 60°C - 100°C ، مع كفاءة جمع من 30 - 50%. في حالة استخدام دورة رانكن لإنتاج الطاقة الحرارية الشمسية، نظراً لأن درجة حرارة المائع (الماء) هي عادة أقل من 100°C (مع البركة الشمسية أقصى درجة حرارة محددة عند 80°C) وليس من الممكن توليد بخار بواسطة مجمع اللوح المستوى أو البركة الشمسية، لذلك فإنه يمكن استخدامه لتشغيل المحرك الأولي (Prime mover). لذلك يستخدم بعض من مائع عضوي آخر (مثل مجموعة الفريون .. الخ) التي تتبخر عند درجة حرارة منخفضة وضغط عالي بامتصاص الحرارة من الماء الساخن. البخار المتكون يمكن استخدامه لتشغيل التربين أو المحرك الذي يمكن أن يولد طاقة، والتي سوف تكون كافية لإضاءة عدد من المنازل للمجمعات الريفية والأغراض الري.

مخطط لأساس دورة رانكن لنظام إنتاج الطاقة موضح في الشكل (1/14). كذلك فإن خطط T-S للدورة موضع - دورة رانكن هي بديل لدورة كارنوت (Carnot) النظرية حدث أنها الأكثر استخداماً ليس فقط لإنتاج الطاقة الحرارية ولكن لمحطات الطاقة التقليدية. العمليات المختلفة التي تشمل الدورة هي:



شكل (1/14) مخطط لدورة رانكن الشمسية

1- عملية الضخ في الطلمبة العكسية بدون التبادل الحرارى (Reversible Adiabatic)

2- الانتقال للحرارة عند ضغط ثابت فى البخار/مولد بخار الماء.

3- التمدد العكسى بدون التبادل الحرارى فى المداد (Expander) (مثل التربين، المحرك الترددى الكباس..الخ).

الانتقال الحرارى عند ضغط ثابت فى المكثف:

دورة رانكين لها كذلك إمكانية التسخين الفائق للبخار الغير موضح فى الشكل يوجد عدد من أشكال النظم تحت التطوير تحت التصنيف الأساسى لدورة رانكين (Rankine cycle) بنظام إنتاج الطاقة الحرارية. ولكن الاختبارات الرئيسية فى هذا المجال تشمل:

أ- اختيار نظام التجميع وضغط ودرجة حرارة تشغيل الدورة.

ب- اختيار مائع التشغيل.

ج- اختيار نظام التخزين.

أ- اختيار نظام التجميع (المجمعات الشمسية):

مجمع اللوح المستوى أو البركة الشمسية (المركز لدورة درجة الحرارة العالية) يمكن استخدامهم. مجمع اللوح المستوى يمكن أن يكون بسيطاً أو بغطاء انتقائى. يمكن الحصول على درجة حرارة حتى 100°C يمثل هذه المجمعات. فى حالة البركة الشمسية تكون أقصى درجة حرارة محدودة عند 80°C . رغم أن البركة الشمسية هى تجهيزه جمع منخفضة التكاليف وتعمل كخزان. كذلك ولكن بسبب بعض القيود الأخرى فإنه لا يمكن أن تكون الاختيار الوحيد عند درجة الحرارة المنخفضة. باستخدام مجمعات التركيز يمكن الحصول على درجة حرارة حتى 1000°C ولكن التكاليف الإضافية للتتبع مع زيادة فى الكفاءة الكلية للنظام يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. تزداد كفاءة دورة رانكين مع درجة حرارة الغلاية بينما تنخفض كفاءة المجمعات الشمسية مع ارتفاع درجة الحرارة، لذلك فإنه يجب معرفة أفضل درجة حرارة تشغيل للغلاية باعتبار عدة مجمعات ودورة رانكين مع تكلفتهم والتكلفة الكلية يجب أن تقل. اختيار المجمع يعتمد جزئياً على المانع المطلوب أو يمكن أن يقال العكس صحيح. بفرض مائع تشغيل ذو درجة حرارة غليان مرتفعة ليتم استخدامه عندئذ فإن استخدام البركة الشمسية أو مجمع اللوح المستوى الشمسى لا يرتفع. بالمثل إذا كان المطلوب استخدام البركة الشمسية كتجهيزه جميع الطاقة الشمسية فإنه يتم استخدام سائل التشغيل ذو درجة حرارة غليان منخفضة.

3- اختيار سائل التشغيل: (Choice of the working fluid)

كما سبق ذكره أن المائع الأولي المتجه نحو المجمع والمائع الثانى المتجه نحو محطة الطاقة يمكن أن يكونوا واحداً أو مختلفين كل عن الآخر. باستخدام نفس المائع خلال النظام له ميزة عدم وجود المبادل الحرارى. نفس الميزة عند الاستخدام بمجمعات اللوح المستوى هي أن كمية كبيرة من سائل التشغيل ذو درجة حرارة المائع، والمجمع يجب أن يعمل عند ضغط أعلا، لذلك يكون من المفيد جداً استخدام موائع مختلفة للمحطة ذات طاقة أعلا 10 - 100 كيلوات.

اختبار مائع التشغيل يتوقف على درجة حرارة التشغيل فى الغلاية والمكثف ونوع الممدد (Expander) المطلوب استخدامه. عموماً يتم استخدام المائع إما الماء أو المائع العضوى (مجموعة الفريون..الخ) كمائع تشغيل. الخواص المطلوبة كمائع التشغيل يمكن ترقيتها كالتالى:

1- طبيعة منحنى التشبع - هذا سوف يعين إلى حد كبير كيف تقترب الدورة العملية مع حدود الكفاءة النظرية.

2- ضغط التشغيل للدورة الاعتبار الهام نحو جانب الضغط المنخفض هو المناخ فهو إما دون الجوى أو الجوى. ولكن أقصى ضغط لسائل التشغيل يقرر تعقيد النظام إلى حد معين. كلا من الحجم المعين والحرارة الكامنة كلا تلك الصفتين يقررا معدل التدفق الحجمى لخرج طاقة معينة والإحكام الجزئى لاختبار المحركات الأولية.

3- اعتبارات أخرى مثل الثبات الكيميائى وعدم العدوانية خلال درجة حرارة التشغيل، الانتقال الحرارى الجيد وخواص التدفق..الخ.

اختيار نظام التخزين:

نظام التخزين مطلوب فى كل نظم التوليد الحرارى للطاقة سواء كانت نظام توليد الطاقة بدورة (Rankine) أو بدورة (Stirling) أو بدورة (Brayton). بسبب الطبيعة والمتغيرة للطاقة الشمسية، فإن كل نظام بالطاقة الحرارية الشمسية يجب أن يكون له نظام تخزين الذى يمكنه نصف الطاقة الساقطة ذات التموج الجيبى (Half sinusoidal incident energy) على طاقة حرارية ذات درجة حرارة ثابتة وتوفير الطاقة لتوليد النظام خلال ساعات عدم سطوع الشمس. يمكن عمل التخزين الشمسى خلال الآتى:

* تخزين الحرارة المحسوسة، تخزين الطاقة فى مادة تغير المجال، تخزين التفاعل الكيميائى، والتخزين الكهروكيميائى. فى حالة توليد الطاقة باستخدام البركة الشمسية فإن التخزين يكون غير مطلوب.

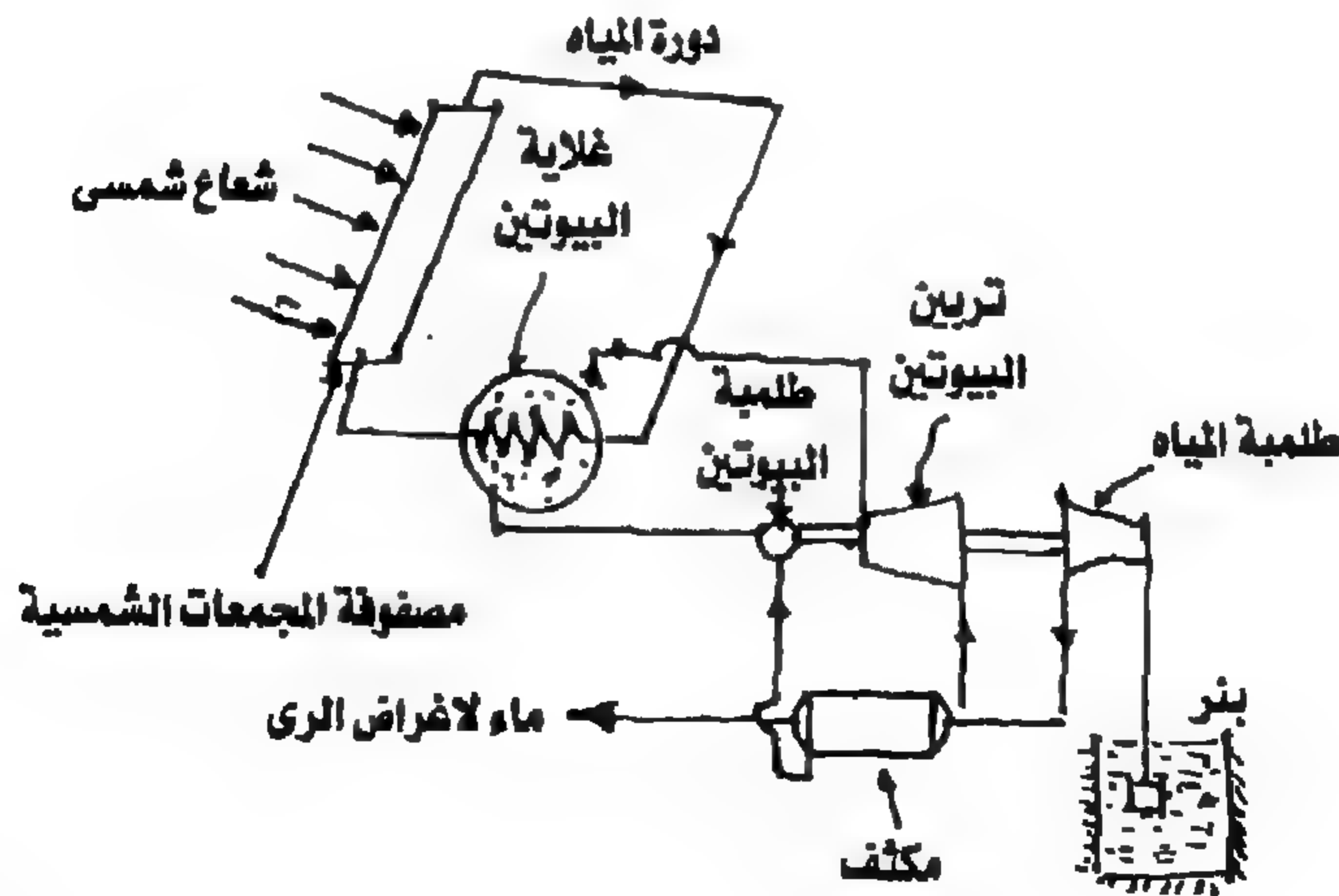
نظام التوليد الحراري للطاقة بواسطة دورة (Rankine):

Rankine cycle thermal power generation system:

لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء خلال التحويل الحراري، قامت الأبحاث في العالم بعمل كبير لمختلف النظم ذات الطاقات العديدة. دورة رانكن بالمائع العضوي تم استخدامها كثيراً في تلك الدراسات. أداء التطوير للتوليد في مجال طاقة شمسية حرارية عالي في المجال عند 10 كيلوات وأعلى حتى عدد ميجاوات، في كثير من دول العالم. تم تطوير النظام باستخدام البركة الشمسية، لوح التجميع المستوي، مجمع التركيز البؤري (من نوع التوزيع) أو التتبع. نظام التتبع (Heliostat) يستخدم عادة في المجال العالي الكبير لإنتاج الطاقة بالحرارة الشمسية (حول ميجاوات). وسيتم وصفه لاحقاً.

المحرك الشمسي ذو درجة الحرارة المنخفضة، باستخدام الماء الساخن من مجمع اللوح الشمسي المستوي والبيوتان (Butane) كمائع للتشغيل كما في الشكل (2/14) التي تم تطويرها في فرنسا لرفع الري. النظام له مصفوفة من مجمعات اللوح المستوي لتسخين الماء حتى قريباً من 70°م وفي المبادل الحراري، تستخدم حرارة الماء لغلي البيوتان. بخار البيوتان ذو الضغط العالي يحرك تربين البيوتان الذي يقوم بتشغيل طلمبة هيدروليكية التي تضخ الماء من البئر واستخدامه في الري. عادم بخار البيوتين من تربين البيوتين يتم تكثيفه في مكثف بمساعدة الماء الذي يتم ضخه بواسطة الطلمبة. هذا المكثف يتم دفعه نحو المبادل الحراري أو غلاية البيوتان.

هذا النظام مطبق لمحطات القوى الصغيرة ذات طاقة حوالي 10 كيلوات. له ميزة البساطة. محطة الطاقة بدورة رانكن باستخدام البرك الشمسية سيتم مناقشتها في فصل البرك الشمسية.

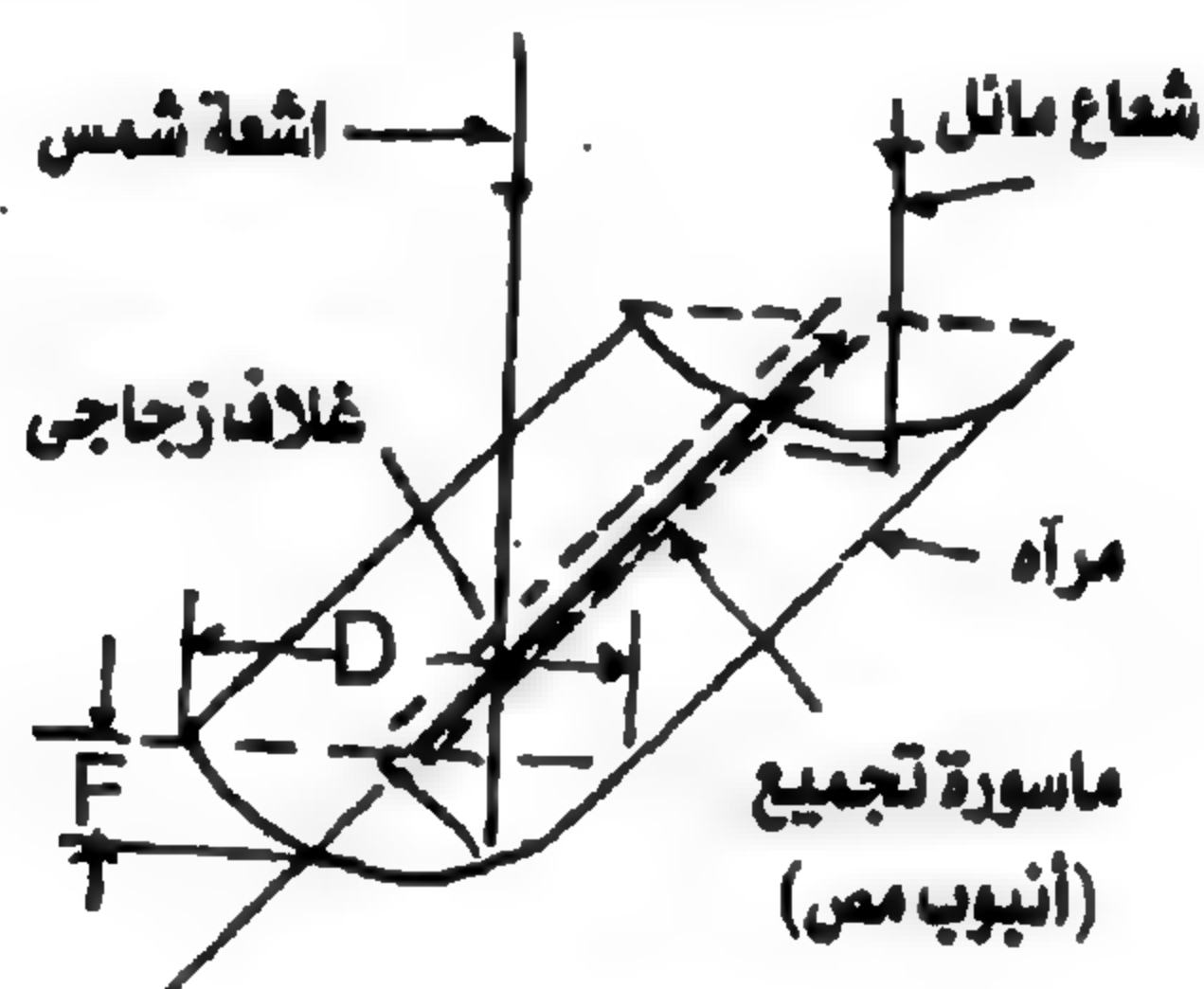


شكل (2/14) مخطط لمحطة طاقة شمسية ذات درجة حرارة منخفضة

نظام درجة الحرارة المتوسطة بمجمعات التركيز :

Medium temp systems with concentrating collectors:

مجمعات التركيز الأسطوانية بالقطع المكافئ (نظام الخط البؤري) تعطى درجة حرارة من 250 إلى 700°م بكفاءة من 50 - 70%. مجمعات درجات الحرارة المرتفعة مثل مركبات نوع القطع المكافئ تتكون من كثير من المرايا المستوية تعطى درجة حرارة في المجال من 600 - 2000°م بكفاءة من 60 - 70% المركز البسيط الأسطوانى بالقطع المكافئ لنظام درجة الحرارة المتوسطة موضح فى الشكل (3/14).

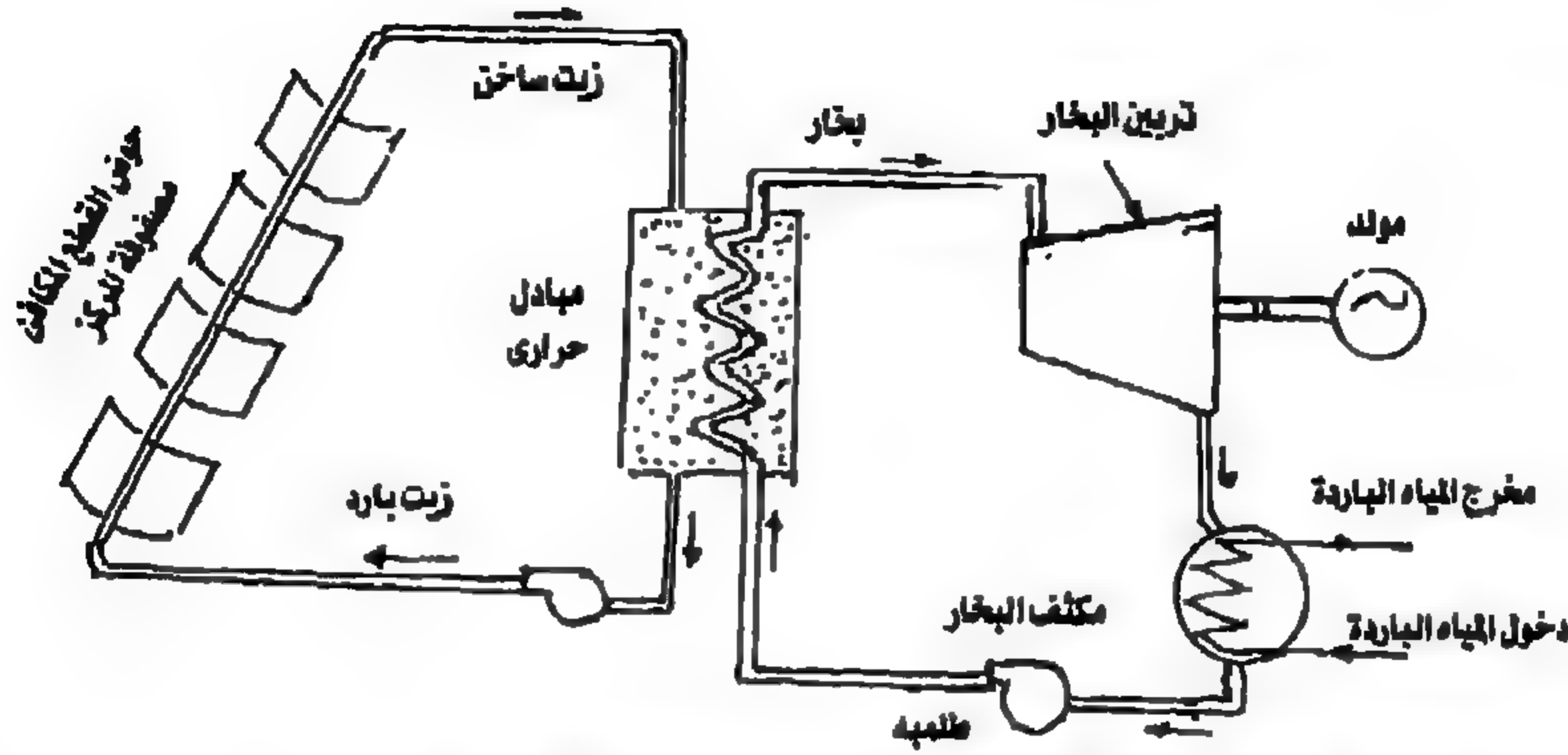


شكل (3/14) الشكل الهندسى للمركز الاسطوانى ذو القطع المكافئ

وهو يتكون من عاكس أسطوانة القطع المكافئ لتركيز ضوء الشمس على ماسورة التجميع خلال غلاف من الزجاج أو الزجاج المقاوم للحرارة (Pyrex) يتم استخدام طلاء تفضيلى من مادة مناسبة على الماسورة لخفض انبعاث الأشعة تحت الحمراء. الفراغ ما بين الأنبوب الشفاف المحيط بالماسورة يمكن تفريره لخفض الفقد الحرارى بالحمل الحرارى. يتم عمل تنظيم مناسب لتتبع الشمس بحيث يتم تركيز أقصى ضوء الشمس على العاكس.

نظام الخط البؤري (Line focus) الذى يسمى كذلك النظام الحوضى (Trough system)، يستخدم مركبات فى شكل أحواض طويلة ذات مقطع أسطوانى أو قطع مكافئ المبطن بالمرايا لجمع وتركيز الإشعاع الشمسى نحو مسار (ماسورة) الطول البؤرى (Focal linear conduit) خلالها يتدفق المبرد الأولى. بسبب شكلهم الهندسى مثل هذه الأحواض تصنع عادة لتتبع الشمس فى مستوى واحد فقط، وذلك بدورانها حول خطهم البؤرى. لذلك، بخلاف شمس الظهيرة، فإنهم يستقبلوا أشعة الشمس التى تكون أكثر ميلاً بالنسبة لسطحهم المسقط (projected surface) مع حيود الشمس من شمس الظهيرة. لذلك فإنهم يعملوا عادة فى مجالات درجة حرارة منخفضة

حوالى من 90 - 315°م. نظام الخط البورى يعتقد أنه مناسب فقط لنظم التوليد الكهربى ذات الحجم الصغير حيث الكفاءة الحرارية تكون ليست ذات أهمية أولى وكذلك لاستخدامات أخرى مثل لتشغيل طلمبة رى، توفير الحرارة للعمليات الصناعية، تدفئة الفراغ والتبريد، وبعض الاستخدامات الصناعية الأخرى، ولكن ليس للمولدات الكهربائية ذات الطاقة الكبيرة، الشكل (4/14).



الشكل (4/14) مخطط لطريقة توليد الطاقة الشمسية باستخدام
مركزات اسطوانية القطع المكافئ (التركيز الخطى)

مجمعات التركيز المستخدمة للأسطح العاكسة لتركيز أشعة الشمس على المستقبل أو الماص حيث الطاقة الشمسية تسخن مائع دواره المائع الساخن يمكن عندئذ استخدامه مباشرة فى عملية صناعية، لتشغيل تربين للأداء الميكانيكى أو التوليد الكهربى.

نظم التخزين الحرارى تقوم بتجميع (Accumulate) الطاقة الحرارية لاستخدامها خلال الجو الملى بالسحب أو ليلاً. عادة، ساعات نظم التخزين تتراوح من التخزين الدرى (Buffer) لفترات قصيرة كما فى حالة مرور السحاب، إلى فترة طويلة بحوالى 6 ساعات. النسق المعيارى (Modularity) هو ميزة نظام حوض القطع المكافئ. معيار المجمع الأساسى هو صف من الأحواض متصلة لتشغيل المحرك الذى يدور معيار الحوض (Trough Module) حول المحور الفردى لتتبع مكان الشمس. نظام تحكم يربط كثير من المعايير (Modules) طبقاً للمطلوب لرفع المائع فى الأحواض فى درجة حرارة خروج موصفه، مادون النظام (Subsystem) يسمى حلقات دلتا T (Delta T loops) والمصفوفة لمثل هذه الحلقات تسمى الحقل (field). الحقل يمكن أن يتكون من حلقة واحدة أو الكثير منها، طبقاً للطاقة المطلوبة لاستخدام معين.

نظم حوض التتبع بالمحور الواحد يكون ذو أداء محبب وتكلفة مؤثرة فى مجال درجة الحرارة المتوسطة أى من 100° إلى 350°م. متطلبات الطاقة خلال هذا المجال

تكون كبيرة، وتشمل تسخين العمليات الصناعية، إنتاج طاقة ميكانيكية أو كهربية مثل الضخ لمياه الري، توليد البخار لاستعادة الزيت، وإنتاج الطاقة الكلية أو التوليد المزدوج (Cogeneration) أى توفير كلا من الكهرباء وعمليات التسخين المباشرة المكونات الخمس لنظام حوض التقطع المكافئ هي:

1- المركز مع الحامل ونظام التشغيل.

2- المركز المستقبل.

3- انتقال الحرارة.

4- التحكم.

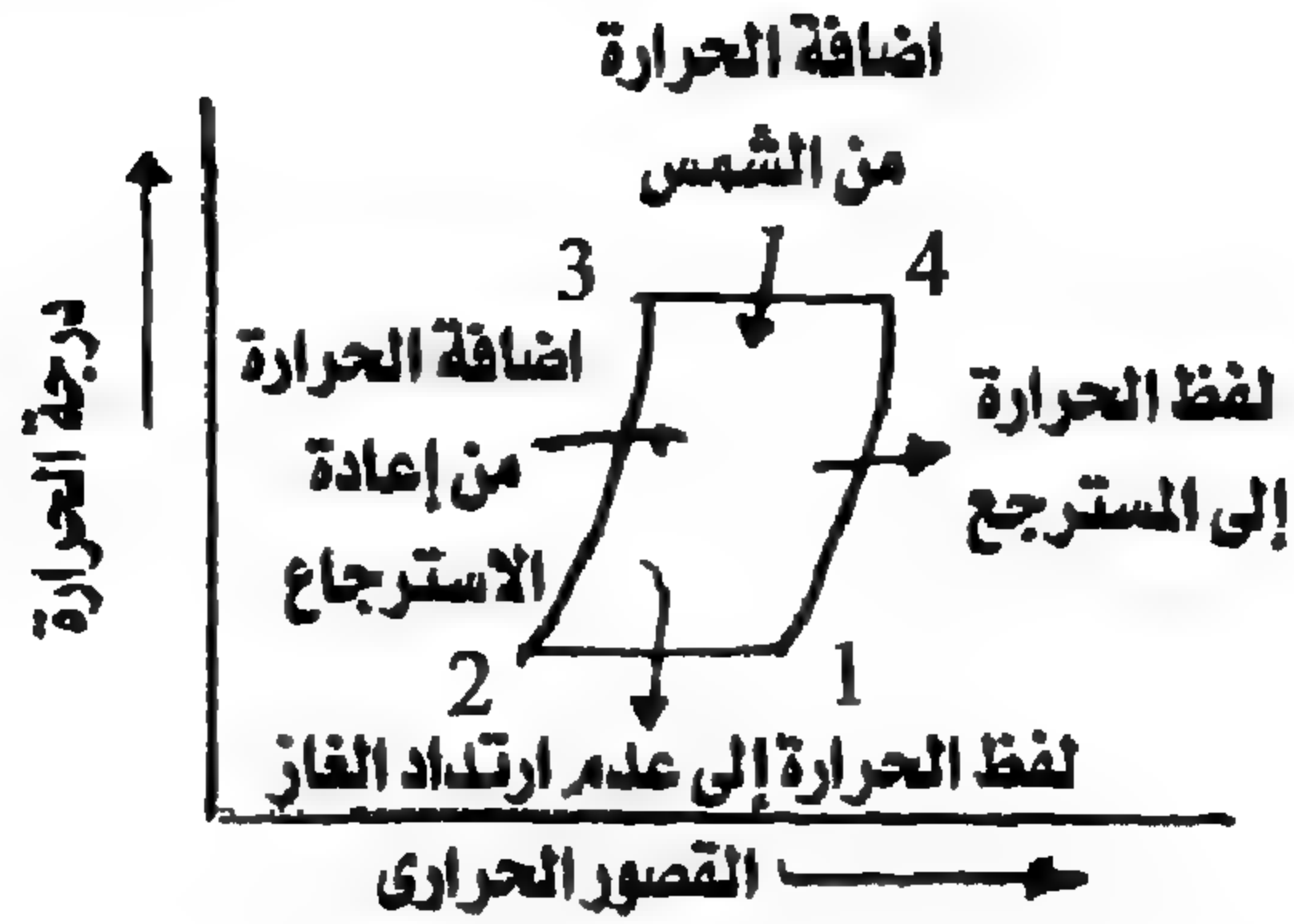
5- التخزين الحرارى (إضافى).

مختلف نظم التركيز الخطى، تسمى قصعة الخط البورى Focal line Bowl أو نظام القصعة الشمسية (Solar Bowl concept)، وهى تتضمن مجمع المراة المثبتة، المشكلة فى شكل نصف دائرة ومائلة إلى أعلا بالنسبة للأفقى على طول خط الشمال-الجنوب طبقاً لبعد المكان عن خط الاستواء المستقبل الأسطوانى الرفيع، ذو لفة الأنابيب المموجة على الماسورة (Helical tubing on pipe). تكون محملة بواسطة كمره كابولى مرتكزة على محور مزدوج محمل لتتبع الشمس. النظام يمكنه تحويل الماء المضغوط إلى البخار المحمص الذى يمكنه تشغيل التربين لإنتاج الكهرباء. يمكنه كذلك استخدام مائع انتقال حرارى آخر عند ضغط منخفض ودرجة حرارة منخفضة عن الماء للحرارة فى العمليات الصناعية ولتدفئة وتبريد المباني. القصعات (Bowls) يمكن أن تكون أضخم من تجهيزات التركيز لوحدة واحدة نظراً لأن سطح الانعكاس لا يحتاج إلى تحريكه لتتبع الشمس. ثم تصميم قصعة شمسية بقطر 20 متر وإنشائها فى الولايات المتحدة لتعيين الجدوى الفنية للنظام.

دورة ستيرلنج لتوليد الطاقة الحرارية الشمسية :

Stirling cycle solar thermal power generation:

دورة ستيرلنج هى مفهوم قديم، حيث اقترحه ستيرلنج عام 1818 فى شكلها الأصيلى كان المحرك بطيئاً، وثقيلاً وغير كفؤ ومع تطوير محرك الاحتراق الداخلى تم إغفاله. وذلك مع أزمة الزيت عادت الأبحاث فى هذا المحرك حيث أصبح فى الإمكان أن يعمل بأى وقود بما فيه السولار. المحركات التى تعمل طبقاً لدورة ستيرلنج باستخدام الطاقة الشمسية تعتبر واعدة. مثل أى محرك حرارى فإن محرك ستيرلنج يسير خلال أربع عمليات أساسية من الضغط للتسخين، التمدد والتبريد. هذا موضح فى الشكل (14/5).



شكل (5/14) عمليات محرك سترلنج

يوجد ثلاث أنواع رئيسية لمحرك سترلنج وهما النوع (Alpha) المستخدم لعدد اثنين كباس. تلك الكباسات تضغط معا مائع التشغيل في الفراغ البارد، ويحركه نحو الفراغ الساخن حيث يتمدد ثم يحركه إلى الخلف.

نوع المحرك الثاني والثالث يستخدم مكبس وكباس إضافي (Displacer). المكبس يعمل الضغط والتمدد والكباس الإضافي يقوم بنقل الغاز من الفراغ الساخن إلى الفراغ البارد. تنظيم الكباس الإضافي مع مكبس القوة في خط واحد يسمى المحرك من نوع (BETA) وإذا كان المكبس مجانباً من الكباس الإضافي (Offset)، ليسمح بتنظيم ميكانيكي بسيط، ويسمى النوع (Gamma) لمحرك سترلنج. بالنسبة للمكونات الرئيسية لنظم توليد الطاقة الحرارية الشمسية بدورة سترلنج، تلك أساساً هي نظام مجمع المحرك الشمسي، مائع التشغيل، محرك سترلنج والتخزين. استخدام المجمع الشمسي باللوح المستوى والبركة الشمسية لا يمكن عملهم لهذا النظام، مجمع التركيز البؤري (القطع المكافئ) هو الاختيار الوحيد. كثيراً من موائع الاستخدام مثل الهواء، الهيدروجين، الهيليوم.. الخ تمت محاولتها.

حدود دورة سترلنج لنظم توليد الطاقة الحرارية الشمسية هي أنها تولد جزء من قوة الحصان حيث يوجد حدود عملية لحجم المركز ذو الثلاث أبعاد بسبب تحميل الرياح وتتبعها.

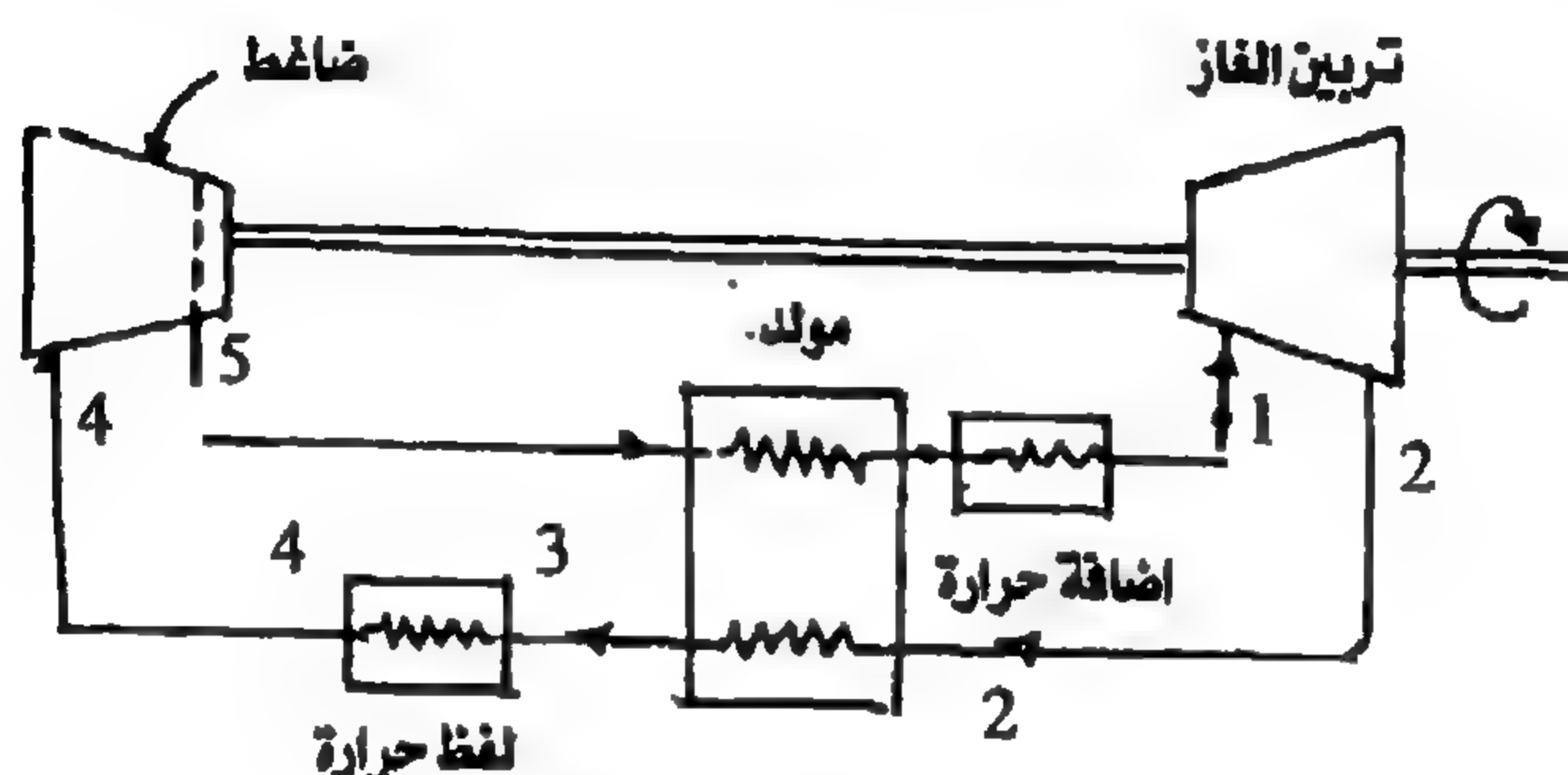
التوليد للطاقة الحرارية الشمسية باستخدام دورة برايتون :

Solar thermal power generation using brayton cycle:

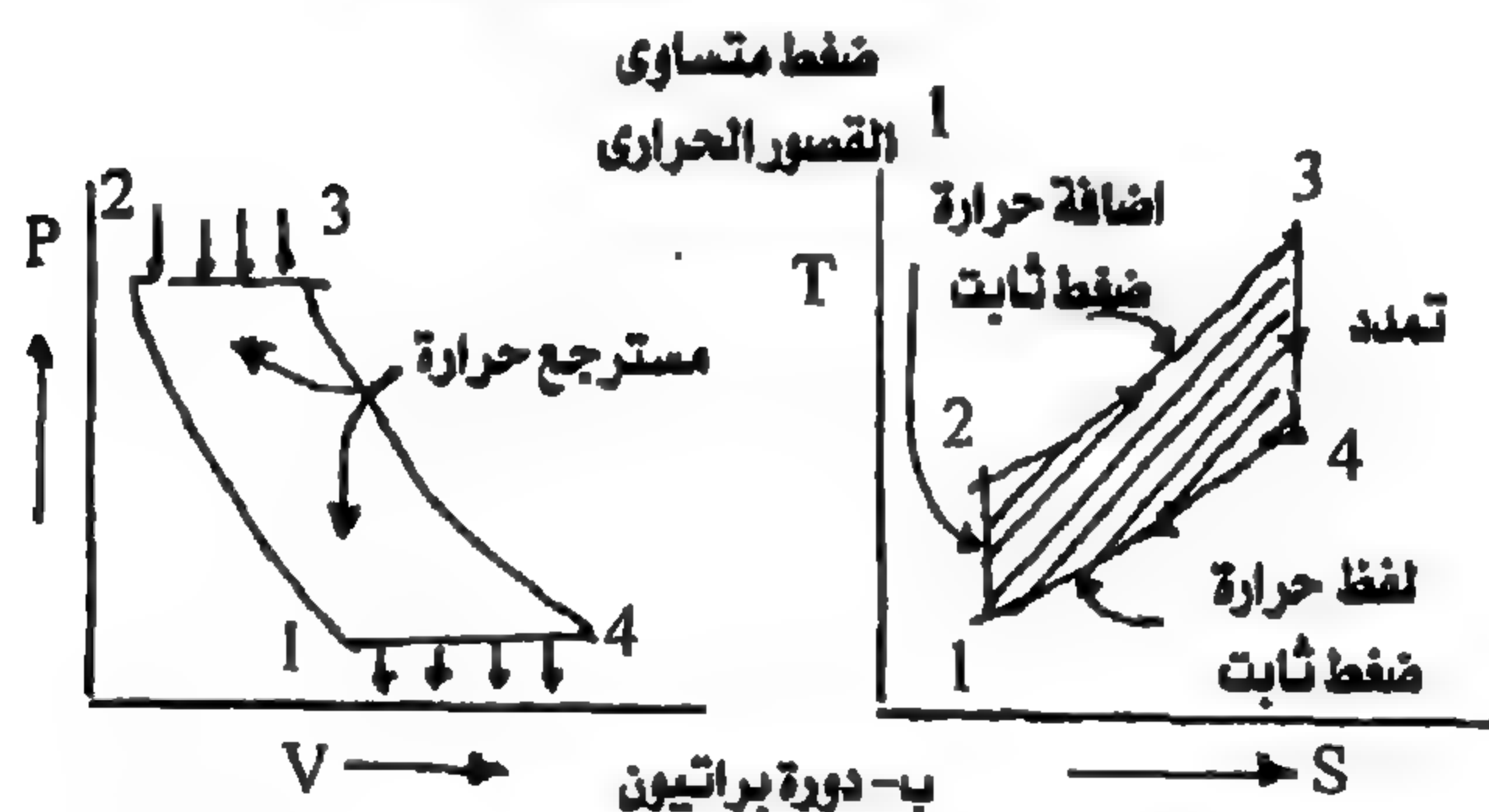
دورة برايتون هي دورة الطاقة الأساسية لمحطات الطاقة بتربين الغاز. القليل جداً من الأبحاث تم على هذه الدورة لتطبيقات الطاقة الشمسية بسبب التكاليف الرأسمالية. نوع المجمعات الشمسية من طراز الهيليوستات يفترض استخدامه في هذا النظام

التوليد الشمسي للطاقة الحرارية

(الهيليوستات هي المتتبع الشمسية). مخطط الدورة المقفلة لتربين الغاز لدورة برايتون موضح في الشكل (6/14) مع مخطط PV , TS. دورة برايتون المقفلة باستخدام الضواغط الدوارة وتربينات الغاز تم تطويرها كلية في مجال الميجاوات لتطبيقات الفضاء. ولكن هذه الدورة لم يتم محاولة استخدامها في تطبيقات الطاقة الشمسية بسبب التكلفة الرأسمالية. كفاءتها تعتمد إلى حد كبير على نسبة الضغط في النظام. في نظام الطاقة الشمسية يكون الحصول على نسبة ضغط عالي مكلف. بعض معاهد الأبحاث تقوم بتطوير نظام الطاقة الشمسية باستخدام هذه الدورة.



أ- دورة مقفلة لتربين الغازي



شكل (6/14) تربين الغاز القفل بدورة برايتون

المفهوم البرجي لتوليد الطاقة (محطة الطاقة بالمستقبل المركزي) :
نظم درجات الحرارة العالية

Tower concept for power generation

(central receiver power plant) High temp systems:

توجد طريقتين لتوليد الطاقة الشمسية وهما:

(A) الفرن الشمسي (Solar furnace) حيث فيه ينعكس ضوء الشمس من أماكن مختلفة كثيرة ويتم تركيزه على مبادل حراري واحد.

(B) الحقول الشمسية (Solar farms) حيث عدد كبير من العاكسات الطولية (Linear Reflectors) تقوم بتركيز الإشعاع الشمسي على أنابيب طويلة التي تجمع الحرارة.

كلا النظامين الأساسيين لتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية يسميان نظام المستقبل المركزي، ونظام المجمع المنتشر على التوالي.

في نظام المستقبل المركزي (Central receivers system): المعروف باستخدامه في لغة الحياة اليومية كبرج الطاقة (Power tower) في التصميم، مصفوفة من المرايا التي تتبع الشمس (هيليوساتات) التي تعكس الإشعاع الشمسي على مستقبل مركب على قمة البرج المركزي. الطاقة الشمسية الممتصة في المستقبل المركزي يتم إزالتها كحرارة بواسطة مائع الانتقال الحراري وتحويلها إلى طاقة كهربائية في تربين المولد.

نظام المجمع المشتت قد يتكون من عدد من المجمعات من نوع القطع المكافئ (التركيز الخطي Line focusing) أو من نوع الطبق بالقطع المكافئ (Paraboloid dish - type) وهي مجمعات تركيز النقطة (Point focusing) مواسير الماص (أو المستقبلات) للمجمعات المنفردة يتم توصيلها بحيث أن كل المائع الساخن يتم حمله على مكان واحد حيث يتم توليد الكهرباء. الفرق الأساسي بين المستقبل المركزي ونظم المجمع المنتشر هو أنه في الحالة الأولى تكون الطاقة الشمسية الساقطة على مساحة كبيرة يتم نقلها إلى نقطة مركزية كإشعاع ولكن في الثانية، يتم حمل الطاقة كحرارة في المائع.

التحليل للنظامين حيث يمكن أن يكون لهما تطبيقات مفضلة مختلفة. الفقد في الطاقة في النقل بالإشعاع أقل منه حالة النقل كمائع ساخن. لذلك، يمكن الحصول على درجة حرارة أعلا عند مدخل التربين بتصميم المستقبل المركزي عنه إذا كانت نفس كمية المائع تم انتقالها من المجمعات المنتشرة. كذلك، في نظام المجمعات المنتشرة الكبيرة، التكاليف لخطوط المواسير الطويلة والطاقة المطلوبة لضخ مائع انتقال الحرارة خلالها سيكون كبيراً. ولكن تلك التكاليف يتم تجنبها إلى حد ما بالتكاليف العالية للهيليوساتات وبرج المستقبل المركزي.

لذلك فإنه يبدو أن نظام المستقبل المركزي يكون مفضلاً لمولد الطاقة بالقدر الكبير للاستخدامات الكهربائية. على الجانب الآخر، تصميم المجمع المنتشر يمكن أن يكون مناسباً إلى حد كبير لمحطات الطاقة ذات السعة الكهربائية الأصغر، ربما أقل من

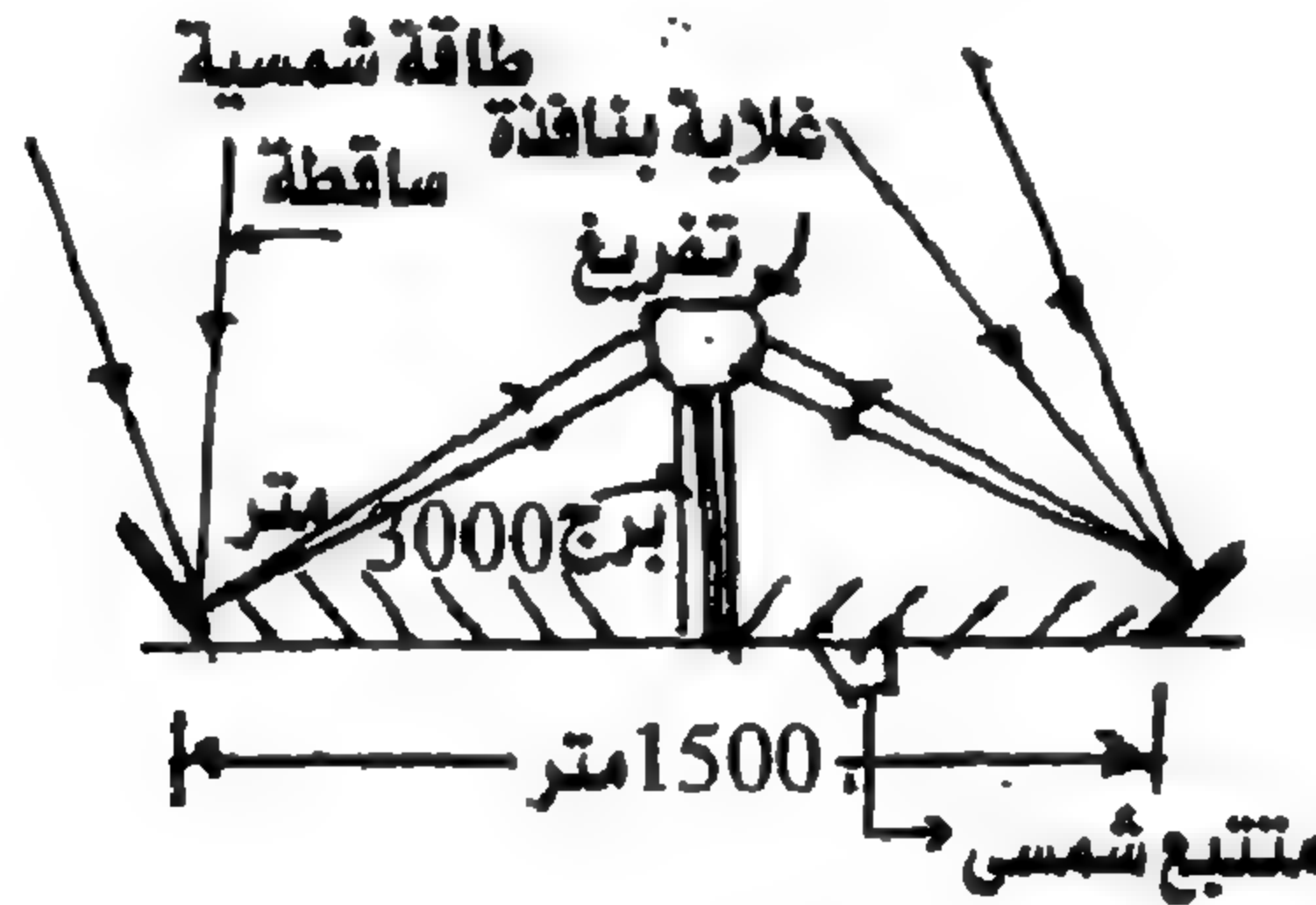
2 ميجاوات. ما يدعى نظم الطاقة الكلية أو (Cogeneration)، يكون بهدف إمداد كلا من الطاقة الكهربائية والحرارة أو البخار، للتجمعات الصغيرة، أو الصناعة، والذي يقع في التصنيف الأخير.

محطات برج الطاقة (نظم الاستقبال المركزي)

Tower power plants (central receivers systems):

(1) المبدأ والعمل :

في هذا النظام كما ذكر الإشعاع الشمسي القادم يتم تركيزه نحو مستقبل مركزي أو غلاية مركبة على برج طويل باستخدام الآلاف من العواكس المستوية التي يمكن تحريكها وتوجيهها حول محورين وتسمى الهيليوستات. طريق البرج موضحة في الشكل (7/14) هي مثال للفرن الشمسي.



شكل (7/14) المفهوم البرجي لتوليد الطاقة

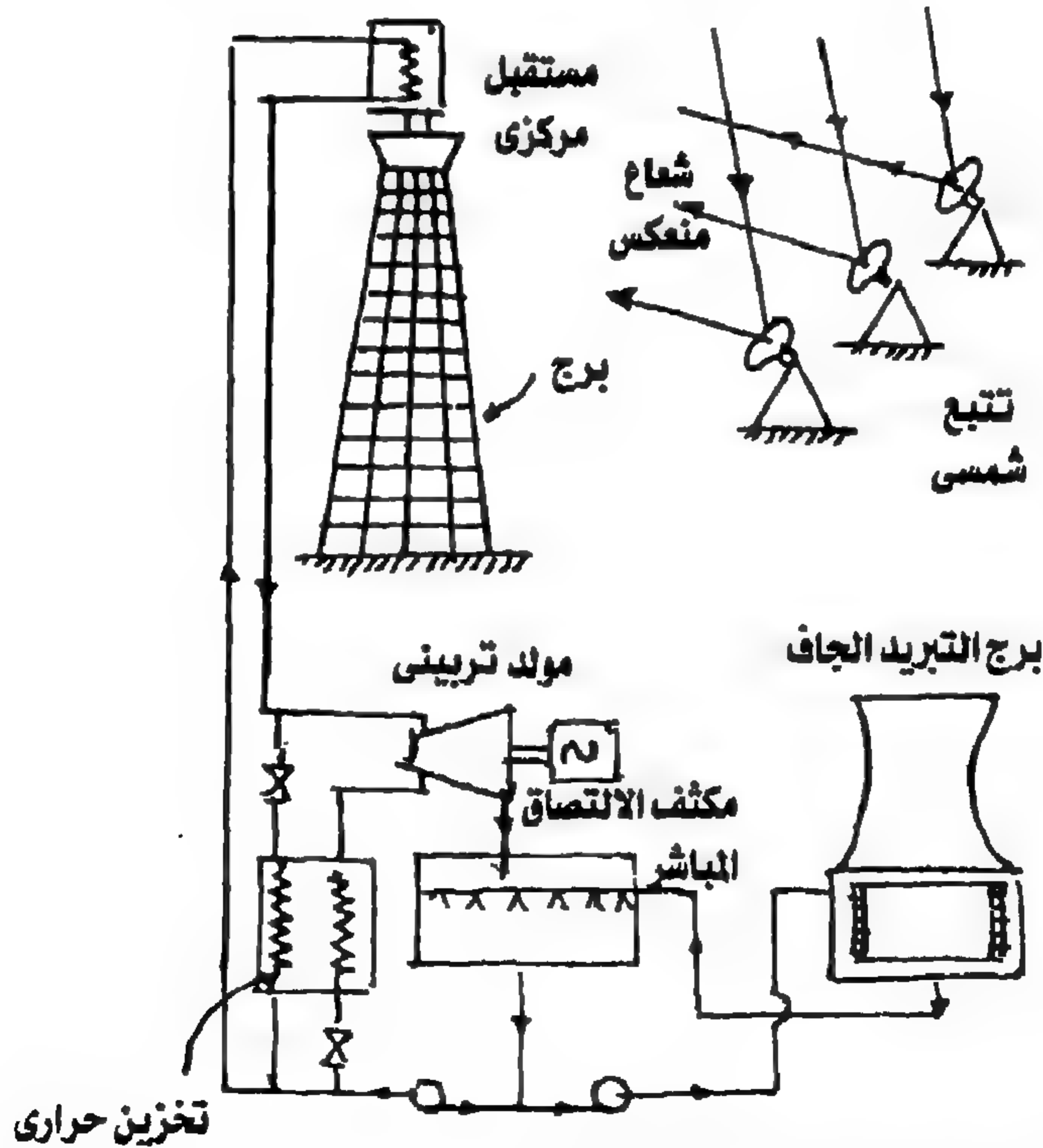
كما هو موضح فهو عبارة عن تجميع من مرايا مستوية منفصلة يتم توجيهها بالطريقة بحيث أن كل الضوء الشمسي الساقط يتم انعكاسه نحو نفس النقطة، ومعامل التركيز الناتج يكون تقريبا مساويا لعدد المرايا.

مخطط لمنظر محطة طاقة كهربائية باستخدام تلك الفكرة موضح في الشكل (8/14). المرايا تنشأ على الأرض ويتم توجيهها حيث تعكس الإشعاع الشمسي المباشر نحو الماص أو المستقبل (الغلاية) الذي يكون مركبا على قمة البرج وقريبا من مركز حقل المرايا لإنتاج درجة حرارة عالية. هذا العامل يمكن من وضع الغلاية في مجال رؤية كل المرايا عند كل الساعات من اليوم. الحزم الإشعاعية الساقطة على الغلاية تمتص بواسطة المواسير السوداء حيث فيها يدور مائع التشغيل ويتم تسخينه. مائع التشغيل الساخن يسمح له بتشغيل تربين وإنتاج طاقة ميكانيكية. التربين المتصل مع محول ينتج طاقة كهربائية كما هو الحال في أي تحول حراري ديناميكي، يتم توفير

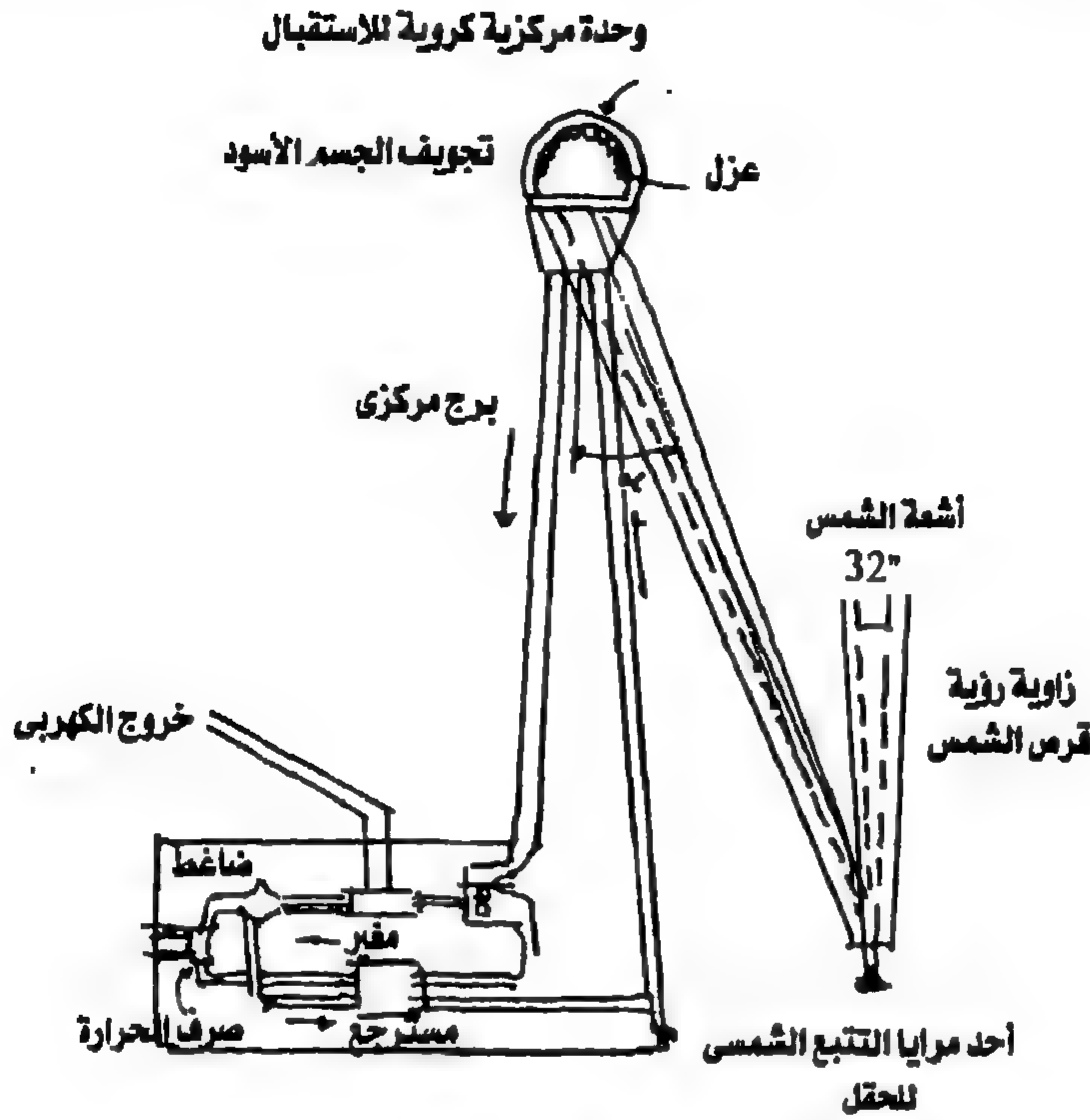
الصرف للحرارة. كذلك يتم توفير الحفظ الحرارى لإمداد الطاقة الحرارية خلال فترات الغيوم وكثافة السحب.

خواص النظام يتم تلخيصها كالاتى:

- 1- كل أجزائها تستخدم تقنيات معروفة.
- 2- نظام التحويل الحرارى يتضمن التربين، والمحول يمكن أن يكون من النوع التقليدى بذا يتم تجنب الحاجة إلى أعمال تطوير مستقبلية.
- 3- الغلاية أو الماص هو ماص خفيف، وحدة ذات حجم منخفض ينتج عنه الفقد القليل للحرارة منها.
- 4- الحرارة المطلوب نقلها خلال مسافة طويلة مقارنة بأحواض القطع المكافئ، بما يتجنب زيادة السبابة والفقد الحرارى، كل الطاقة يتم نقلها إلى نقطة مركزية بواسطة انتقال ضوئى. الشكل (9/14) يوضح مخطط لمحطة الطاقة الحرارية الشمسية بالمستقبل المركزى باستخدام حقل من المرايا المستوية وتربين الغاز.



شكل (8/14) محطة طاقة بنظام المستقبل الحرارى المركزى الشمسى



شكل (14/9) مخطط لبرج المستقبل المركزي مع حقل من المرايا المستوية والتربين الغازي

النظام يجب أن يحتوى التخزين لوقت الليل وفترات كثافة السحب، كما هو موضح في الشكل (8/14). خرج المستقبل يكون أكبر من ذلك المطلوب بدورة البخار، والفائض من الإنتاج خلال فترات أقصى سطوع شمسي يتم تمريره جانبياً إلى نظام التخزين الحراري. خلال فترات انخفاض سطوع الشمس أو غيبه الشمس، فإن مياه التغذية يتم تحويلها إلى نظام التخزين، بدلاً من المستقبل حيث تتبخر للاستخدام في التربين. استخدام الجيد للمحابس في النظام يسمح بالعمل في أي من الأسلوبين.

نظراً لأن محطات إنتاج الكهرباء الحرارية الشمسية غالباً ما تكون موجودة في المناطق الحارة الجافة حيث تكون الأرض متاحة (لحقول الهيليوسات الضخمة) وحيث الطاقة الشمسية متاحة، ولكن حيث مياه التبريد يكون نادراً، ماء المكثف يكون من المحتمل غالباً تبريده بواسطة برج التبريد الجاف. مثل هذه الأبراج تكون أقل كفاءة وتسبب خفض في كفاءة دورة رانكن ولكن لا تتطلب عملياً مياه تعويض.

تكاليف التوليد لوحدة الطاقة الكهربائية تقل بزيادة إمكانيات المحطة، ولكن مع زيادة الحجم يوجد خفض في متوسط تأثير الهيليوسات بسبب زيادة المساحة من المستقبل

المركزي. حيث يمكن تقدير أن أفضل طاقة كهربية حالية لمحطة الكهرباء الحرارية الشمسية ذات المستقبل الشمسي، من وجهة النظر الاقتصادية، يمكن أن تكون في المجال من 50 إلى 300 ميجاوات. ارتفاع البرج يمكن أن يصل إلى حوالي 300 متر (1000 قدم) وإجمالي المساحة الأرضية تقدر تقريباً 325 هكتار (800 فدان) لذلك فإن هذا النظام يمكن تقسيمه إلى الأقسام الفرعية وهي:

- أ- حقل المرايا الموجهة (الهيليوستات - المتتبعة الشمسية).
- ب- البرج بالمستقبل المركزي عند قمته أي مستقبل بنظام فرعي.
- ج- نظام فرعي للانتقال الحراري.
- د- نظام فرعي للتحويل الحراري.
- أ- الهيليوستات (المتتبعة الشمسية):

المتتبعة الشمسية عبارة عن مرايا انعكاس التي يمكن تدويرها بحيث أنه يمكنها انعكاس أشعة الشمس على المستقبل المركزي في كل الأوقات غالباً وخلال ساعات ضوء النهار. وهي تحافظ على استقرار الشمس بالنسبة للمستقبل. وهذه تعمل لتتبع الشمس، وليس لكونها عمودية على أشعتها (كما في النظم المنتشرة) ولكن بكونها عند زاوية لهذه الأشعة التي تعكسها إلى المستقبل المستقر (الثابت). هذه الزاوية تعتمد على كلا من وقت النهار ووضع كل متتبعة للشمس بالنسبة للمستقبل.

المتتبع الشمسي (Heliostat) يتكون من السطح العاكس أو المرآة، منشأ حاملي المرآة، وأساس، قاعدة، آلية تجهيز التحكم. التصميمات العادية لها مساحات انعكاس كلية ما بين 40 ، 70متر مربع. المثالي، أن السطح يجب أن يكون ذو مقطع مكافئ إلى حد ما (Slightly parabolic)، مع البعد البؤري يساوي المسافة من السطح إلى المستقبل ولكن، نظراً لأن تلك المسافة طويلة، فإن الأسطح المستوية أو الكروية توفر أداء جيد. يوجد نوعين من أسطح الانعكاس وهما الزجاج والبلاستيك. المتتبعة الشمسية (الهيليوسوستات) المستخدمة للزجاج تم تطويرها مقارنة بالبلاستيك أساساً بسبب انعكاسها وقوتها. الهيليوسوستات البلاستيك رغم انخفاض قدرة انعكاسها وقوتها مقارنة بالزجاج، إلا أن تكلفتها أقل لكل من منشأ الحمل وآلية التشغيل وخفة الوزن.

بالنسبة لمشكلة التخزين الناتجة عن السطوع المتقطع للشمس، فإنه يمكن مصاحبة غلاية تعمل بالوقود العادي مع محطة برج الطاقة. الغلاية التي تعمل بالوقود سوف توفر الطاقة عند زيادة الطلب عن طاقة وحدة التخزين، كما في حالات الليل والمناخ الحاجب لأشعة الشمس. وهي كذلك يمكنها تعويض التغيرات الموسمية في سطوع الشمس. نظام (Hybrid) أي النظام المختلط لهذا النوع يمكن إقامته اقتصادياً بإضافة

الغلاية ببساطة إلى دائرة العمل. لذلك فإنه يمكن توفير الحرارة إلى وحدة توليد الطاقة أما من الغلاية التي تعمل بالوقود أو من الماص الشمسي (Solar absorber).

المواد للمرايا: (Materials for mirrors)

يمكن تصنيع مرآة السطح المستوى بالطلاء المعدني بالرش (metallization) للزجاج المستوى أو ألواح البلاستيك المرنة. بالنظر إلى العمر الافتراضي للمحطة (حوالي 30 عام)، فإن البلاستيك يكون أقل اعتمادية نظراً لأن خواصه البصرية والميكانيكية معرضة للتغير مع الوقت. الزجاج المستوى، بالطلاء المعدني بالرش بالفضة أو الألومنيوم يوفر قدرة انعكاس تتراوح من 82% إلى 93% على التوالي، معرض للنظافة.

المرآة يجب أن تكون قابلة للتوجيه (Steerable)، بدون منشأ تحميل مثلاً إطار من كمر الصلب أو قلب عش عسل النحل، المرايا الزجاجية لا تكون قادرة على تحمل أحمال الرياح التي تحدث عادة في الأراضي الجافة. زيادة مساحة المرآة، تزيد من قوة وثبات المنشأ الحامل. نتيجة لذلك المتتبع الشمسية تكون ثقيلة، حيث مرآة بمسطح 50 متر مربع تزن حوالي 2 طن.

المتتبع للمرايا : (Tracking of mirrors)

في تجهيز المرآة في معظم الحالات يتم تحميل المرايا في المركز على أعمدة جاسئة (Rigid). تجهيزه التحميل تكون عادة Gimballed (أي على محورين لإبقاء المرآة المحمولة في وضع أفقي) بحيث أنها تسمح بتوجيه محورين للمتتبع الشمسي (2 Axis heliostat orientation)، مع اثنين من المشغل المحفز (Actuators) لكل تحرك أو دمج فيها. بسبب حمل الرياح، فإن كلا من الحامل والتحميل والمحفاز يجب أن يكون تجهيزهم قوى. توجد طريقتين لإحكام المحفزات. الأولى تستخدم حاسب مركزي يتبع برنامج ثابت نظراً لأن حركة الشمس يمكن استنتاجها بدقة. تلك الطريقة توفر ميزة أن المرآة تكون آلياً في الوضع الصحيح بعد فترة غياب الشمس. هذا لا يحدث في الطريقة الثانية، التي فيها الإشارة الرئيسية تعطى بواسطة حساس بصري مدمج في المرآة. بالتالي، يكون المطلوب توجيه إضافي لوضع المرآة ثانياً على المسار لاستمرار المتتبع تحت غطاء السحب. كلا بدائل التصميم يتم بحثهم.

ب- النظام الفرعي للمستقبل (Receivers subsystem)

المستقبل المركزي عند قمة البرج له سطح امتصاص حرارة (مثل الألواح المغطاة بمادة امتصاص الحرارة) التي بها يتم تسخين مائع الانتقال، تم اقتراح شكلين أساسيين

للمستقبل، وهما أنواع التجويف أو التكهف (Caving) المستقبل الخارجي (External receiver) في نوع التكهف أو التجويف تبطن المواسير داخل التجويف، الإشعاع الشمسي الساقط، الإشعاع الشمسي الذي ينعكس بواسطة المتتبع الشمسية (Heliostat) يدخل خلال فتحة عند القاع للتجويف. على الجانب الآخر في نوع المستقبل الخارجي تكون أسطح الامتصاص على خارج منشأ أسطوانى تقريباً. يتم تنظيم إطار أنبوبي خلال الفجوة وتكون محدبة نحو حقل المتتبع الشمسية (هيليوستات) بينما المستقبل الخارجى له إطارات أنبوب التبريد مبطنة لخارج المستقبل.

وتكون محدبة قليلاً نحو حقل المتتبع الشمسية للمحطات الكبيرة والأطر (اللوحات Panels) تكون مستوية للمحطات الصغيرة.

الفقد الحرارى بالإشعاع وبالحمل الحرارى (Convection) يكون عموماً أقل بالنسبة للفجوة عنه لشكل المستقبل الخارجى، ولكن التركيز البؤرى (Focusing) يمكن أن يكون أكثر حرجاً بسبب، أنه ليتم الامتصاص فإنها يجب أن تدخل خلال فتحة التجويف. كذلك، المستقبل الخارجى له ميزة البساطة، بناء النماذج الإطارية (Modular Panel) سهولة الاقتراب للصيانة، ومساحة امتصاص كبيرة. المستقبل الكبير له قوة انسكاب (Spillage) قليلة. هذه هي الطاقة المنعكسة بواسطة المتتبع الشمسية ولكنها لا تتقاطع مع مستقبل مائع الانتقال الحرارى. أشعة العاكس قد تفقد المستقبل كلية أو أن تسقط خارج الفتحة (في مستقبل الفجوة أو الكهفي Cavity). الانسكاب يمكن أن يكون بسبب أخطاء التتبع للمتتبع الشمسية وذلك بسبب أخطاء نظام التحكم، تأثيرات الريح، التقويف فى التوجيه (Steering Back lash).. الخ. الانسكاب عادة أقل من 5% فى النظام ذو التصميم الجيد. المستقبل الضخم يقاسى من الفقد الكبير بالحمل الحرارى والإشعاع. مستقبل التجويف له فقد انعكاس أقل من المستقبل الخارجى وكذلك أقل حمل حرارى لأن أسطح الانتقال الحرارى تكون محمية (الفجوة تقترب من الجسم الأسود). الإشعاع الداخلى خلال الفتحة يتكرر انعكاسه خلال الفجوة مع قليل جداً نحو وجود طريقة إلى الخارج (Backout). لذلك فإن الإشعاع يتم احتجازه فى الداخلى، والنتيجة فى أن قوة الامتصاص تساوى تقريباً الواحد. ولكن مستقبل الفجوة له أكبر فقد بالتوصيل بسبب كبر حجمه وتعقيده. مستقبلات الفجوة تكون لذلك أكثر كفاءة مقارنة بالمستقبلات الخارجية، ولكنها أكبر كثيراً وأثقل وأكثر تكلفة عن المستقبلات الخارجية.

ج- النظم الفرعية لانتقال الحرارى : (Heat transport subsystem)

يوجد نوعين أساسيين من طرق التحويل الحرارى الديناميكي (Thermodynamic) وهما دورات (Brayton & Rankine)، وهما مستخدمان للنظم الفرعية التى تحول

الحرارة إلى طاقة كهربائية. الماء هو مائع الانتقال الحرارى المناسب، ويكون فى شكل بخار وهو المائع العامل فى معظم التربينات الموجودة لتوليد الكهرباء. لذلك الماء سوف يستخدم، على الأقل فى المحطات الكهربائية الحرارية الشمسية المبكرة. الماء السائل (أى مكثف التربين) تحت الضغط يدخل المستقبل، يمتص طاقة حرارية، ويترك فى شكل بخار محمص على التسخين (Super Heated steam) حالات البخار المثالية يمكن أن تكون عند درجة حرارة 500°م وعند ضغط حوالى 100 جوى. يتم ضخ البخار فى مواسير نحو منسوب الأرض حيث يقوم بتدوير نظام المولد التربينى التقليدى. كما هو الحال فى كل محطات الطاقة الكهربائية بالبخار، يتم التخلص من الحرارة فى مكثف التبريد بالمياه.

فى النظم المتقدمة للمستقبل المركزى، قد يكون مائع الانتقال الحرارى الصوديوم السائل أو الخليط المنصهر من الأملاح عند تقريباً الضغط الجوى. عند قاع البرج يتم تدوير السائل ذو درجة الحرارة المرتفعة خلال المبادل الحرارى، حيث الحرارة سوف تنقل إلى الماء لتوليد البخار عند ضغط على ودرجة حرارة عالية. لذلك، يمكن تحقيق كفاءة عالية للتحويل إلى الكهرباء بدون الحاجة إلى ضغط مرتفع فى المستقبل. إمكانية أخرى وهى باستخدام الغاز كوسط الانتقال الحرارى وكذلك كمائع تشغيل فى تربين الغاز. فى دورة (Brayton) أو دورة تربين الغاز، يتم ضغط الغاز وتسخينه ثم تمدده خلال التربين، الذى يكون متصلاً بالمولد. الغازات المستهلكة قد تستخدم للتسخين المسبق للغاز المضغوط فى المولد أو المسترجع Recuperaton (وهو منظومة تسمح بالاستفادة من حرارة غازات الفرن المنصرفة). يمكن استخدام الهواء، الهيليوم، الأرجون وغازات أخرى.

زيوت الانتقال الحرارى لنظم المستقبل المركزى الشمسى كوسط انتقال حرارى هى (Carolina HT-43, therminol-66) التى لها مجال عمل من 7°م إلى 315°م. كذلك تستخدم الزيوت كذلك لنقل حرارة المستقبل إلى مولد البخار عند جانب المحطة. الزيوت لها ميزة انخفاض التآكل كما يمكن اختيارها لضغوط البخار المنخفضة. وهى رغم ذلك، قابلة للاشتعال، ويمكن أن تسبب مشاكل التدفق عند درجات الحرارة المنخفضة وعادة تقاسى من التلف الحرارى أى أنها تتحلل تحت حالات درجة الحرارة العالية والذى يسمى التحلل الحرارى (Pyrolytic Decomposition).

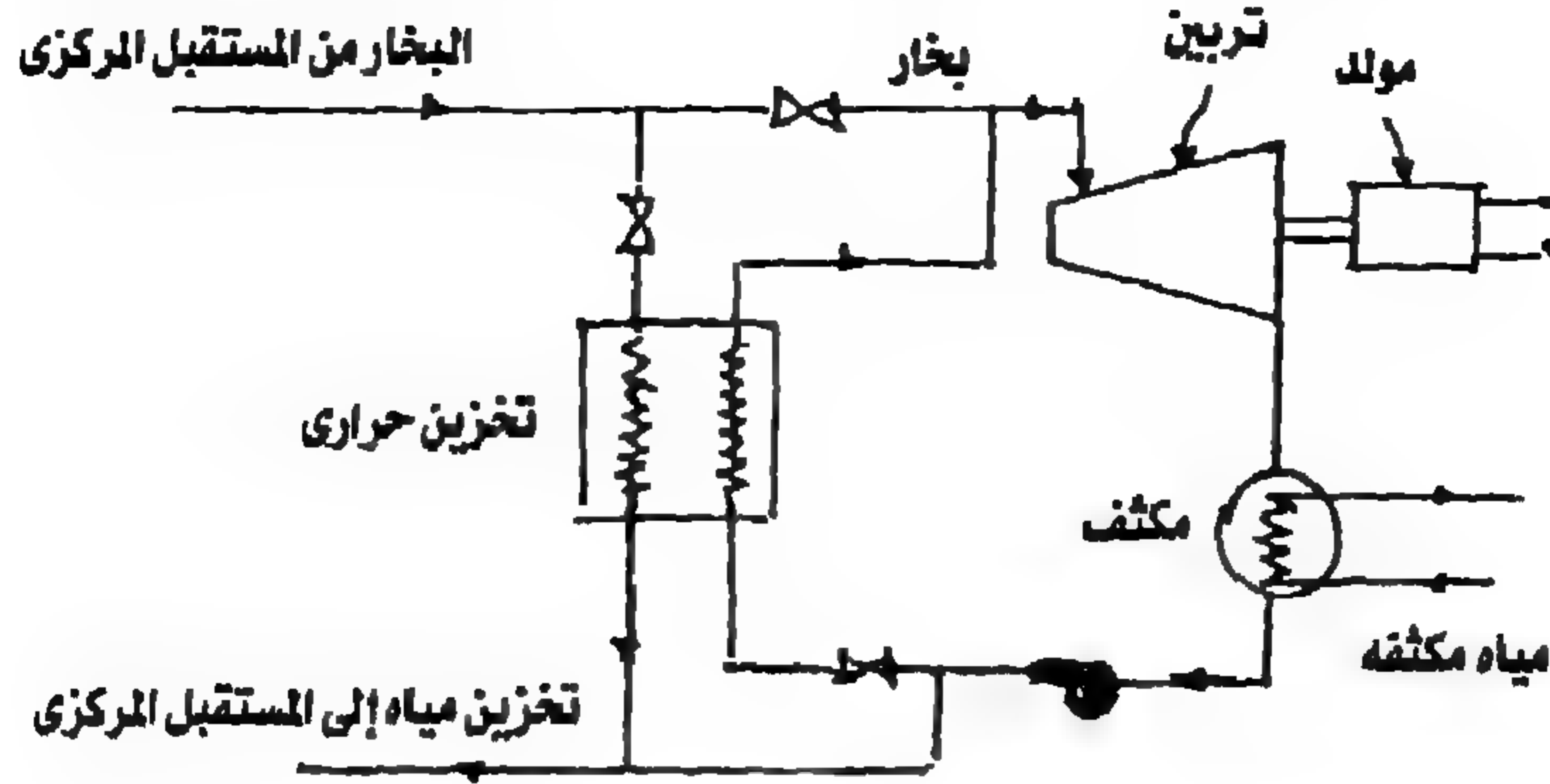
التخلص من الحرارة خلال التحويل الحرارى الحركى (Thermodynamic conversion) يمثل مشكلة فى توليد الطاقة الشمسية. يقدر أن

متطلبات مياه التبريد لمحطة 100 ميجاوات تقدر بحوالي 30000 متر مكعب في الساعة إلا إذا استخدمت أبراج التبريد. من المحتمل أن محطات الطاقة الشمسية المستخدمة لمركزات ضوء الشمس المباشر سوف تقام غالباً في الصحراء أو الأراضي الشبه جافة، حيث الحاجة إلى كمية كبيرة من ماء التبريد سوف تحد من اختيار المواقع.

د- النظم الفرعية للتخزين الحراري : (Thermal storage subsystem)

الغرض من النظم الفرعية للتخزين الحراري هو لتخزين الطاقة الحرارية الشمسية الممتصة في المستقبل للاستخدام في وقت لاحق. كما هو الحال في كل نظم الطاقة يجب الانتباه نحو مشكلة تخزين الطاقة. يبدو أنه من الضروري توفير تخزين حراري، على الأقل لفترات صغيرة، وذلك لتجنب الفقد في الوقت والذي يمكن أن يحدث بعد حالات التوقف، بسبب نقص سطوع الشمس حيث وصلت المحطة إلى درجة حرارة عملها ثانياً. التخزين لفترة صغيرة للحرارة يمكن توفيره بواسطة الطوب الحراري، أكاسيد السيراميك (Mg 500)، الأملاح المنصهرة (NaNO_3) عند 260°C : الكبريت (السائل ما بين 113°C و 444°C) أو المعادن مثل الزئبق (السائل ما بين 390°C ، 357°C) الليثيوم (السائل ما بين 180°C و 1400°C)، الصوديوم (السائل بين 98°C و 880°C). بعض المواد العضوية تكون مناسبة كذلك حتى 300°C . العمل العادي يتم تركيزه على التخزين بالصخر، الأملاح ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة (Eutectic)، وبعض المواد العضوية المصنعة ذات ضغط بخار منخفض مثل (Gilotherm). اختيار مادة التخزين التقليدية يتحدد بواسطة كثافة طاقتها (It's Energy Density)، التوصيل الحراري، وخواص التآكل، التكلفة وملاءمة الاستخدام وكذلك بدرجة التشغيل لمائع العمل. فضاء التخزين يجب أن يكون تام العزل ضد الفقد الحراري.

المثال البسيط لتكامل التخزين الحراري مع محطة الطاقة الحرارية مع مائع العمل من البخار -الماء موضح في الشكل (10/14) البخار ذو درجة الحرارة العالية الزائد عن الحاجة الحالية يتم تحويله إلى المبادل الحراري خلال وسط التخزين المحتوي في خزان جيد العزل. يتم انتقال الحرارة إلى التخزين ومائع التبريد يتم عودته إلى المستقبل المركزي. عند الحاجة إلى الحرارة، تستخدم الحرارة المخزنة لتوليد البخار للتربين.



شكل (10/14) توليد الطاقة الكهربائية باستخدام التخزين الحراري

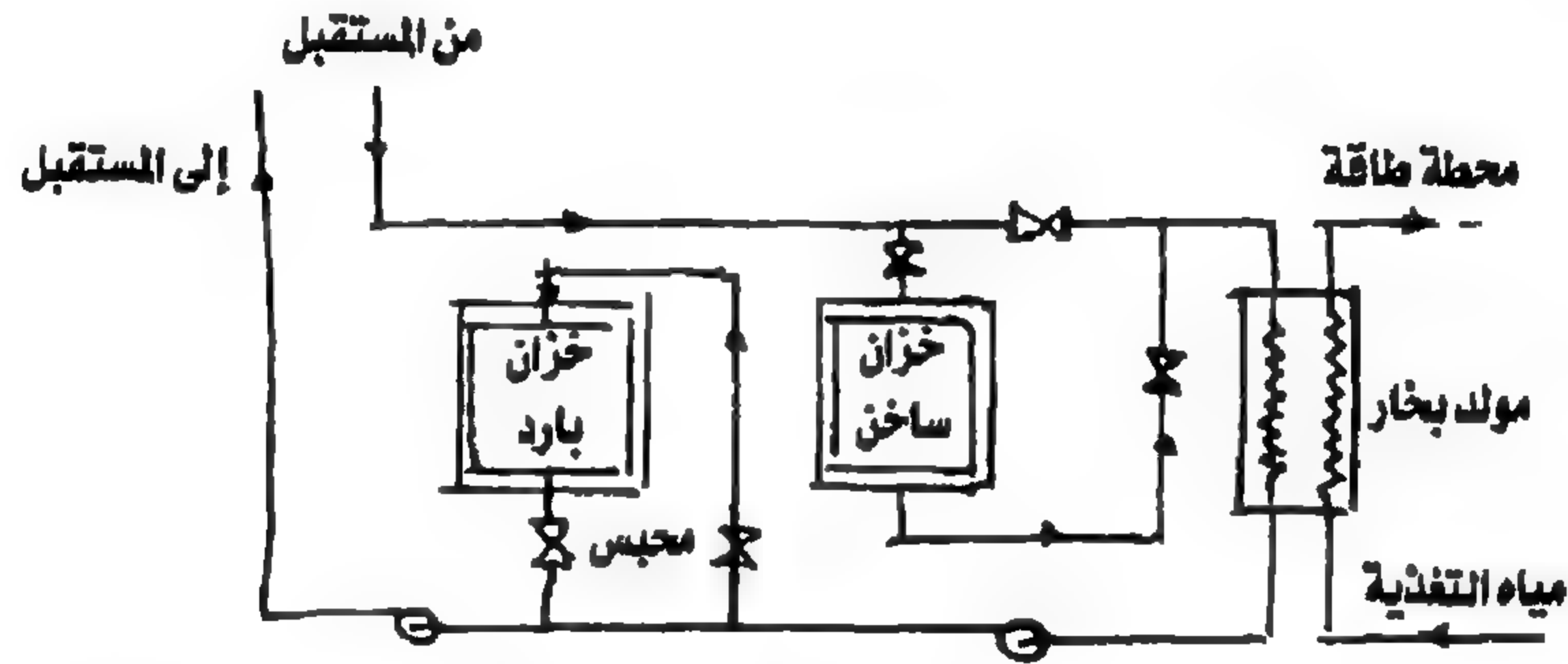
يوجد نوعين من التخزين الحراري المستخدمة أساساً مع النظم الشمسية. وهما:

- 1- الخزان الفردي أو المنحدر الحراري (Thermocline) أو
- 2- الخزان المزدوج أو النظم الساخنة - الباردة.

الخزان الفردي أو نظام المنحدر الحراري موضع تخطيطياً في الشكل (8/14). يحدث التخزين بتدوير بعض المبرد الأولي الساخن خلال وسط التخزين وعودة المبرد الأولي البارد من القاع لحوض التخزين إلى المستقبل لإعادة التسخين. استخلاص الحرارة في أوقات الحاجة تتم بعكس العملية: المبرد الأولي البارد من محطة البرج يتم تسخينه بواسطة وسط التخزين، ويسحب من أعلا الخزان إلى نظام الطاقة، ثم عندئذ العودة إلى قاع الخزان. التدرج الحراري للسخونة عند القمة، البرودة عند القاع تحافظ على استمرار تكون الطبقات (Stratification)، بما يسمح للمائع الساخن ليظل طافياً عند القمة ويعطى الخزان ثبات حراري. بالإضافة، الوسط التخزيني الصلب ذو التوصيل الحراري المنخفض وطاقة حرارة حجمية عالية مثل الصخر، يستخدم للمساعدة في إعاقة خلط المواقع الساخنة والباردة. وسط التخزين الصلب يكون ضرورياً في حالة كون المبرد الأولي هو الغاز (مثل الهواء أو الهيليوم) بسبب انخفاض السعة الحرارية للغازات. المادة الصلبة المسامية تمثل وسط تخزين جيد للغازات.

البديل لنظام المنحدر الحراري هو ذلك الذي فيه مائع التخزين المنفصل، بخلاف المبرد الأولي، يمكن استخدامه. هذا سوف يكون سائل ذو توصيل حراري منخفض وطاقة حجمية حرارية، عادة الزيت. يمكن استخدامه منفرداً كوسط مستقل أو أن يصاحبه وسط تخزين صلب، مثل الصخر في النظم المشتركة كما سبق، لخفض حجم تخزين السائل المكلف وإعاقة خلطة. يتم إضافة الحرارة إلى واستخلاصها من المبرد الأولي خلال المبادلات الحرارية المتوسطة.

أما الخزان المزدوج أو نظام الساخن - البارد يستخدم خزانين. المائع يكون سائل ليس مثل نظام الانحدار الحراري الطبقي، عند درجة حرارة ماء، سخونة في خزان، برودة في الآخر. كمية الطاقة الحرارية المحسوسة المخزنة تتغير بتغير الموائع في الخزانات المعزولة جيداً الشكل (11/14). لذلك فإنه خلال التخزين يتم سحب السائل من الخزان البارد، تسخينه، وإضافته إلى الخزان الساخن. خلال الاستخلاص تنعكس العملية. تقنية الخزان المزدوج هذه تم اقتباسها من عمليات التكرير. وهي مناسبة فقط لمبردات السائل مثل الصوديوم، الأملاح المنصهرة، أو الزيت. الخزانات الساخنة المستخدمة بالصوديوم والملح المنصهر يلزم صناعتها من مادة سبيكة عالية من الصلب المقاوم للأوستينيت. كثافات تخزين الطاقة الحرارية تتغير كثيراً بين مختلف الوسط التخزيني. بعض القيم التقليدية لمجال درجة حرارة من 290°C إلى 565°C موضح في الجدول التالي:



شكل (11/14) مخطط للخزان المزدوج أو الساخن - البارد
لنظام التخزين الحراري

جدول (1/14) كثافات التخزين الحراري العادية:

كثافة التخزين الحراري ميجاوات ساعة/م ³ (MWh/m ³)	الوسط
0.08	الصوديوم
0.15	الصخر، نسبة الفراغات 25%
0.22	الملح المنصهر (نترات)

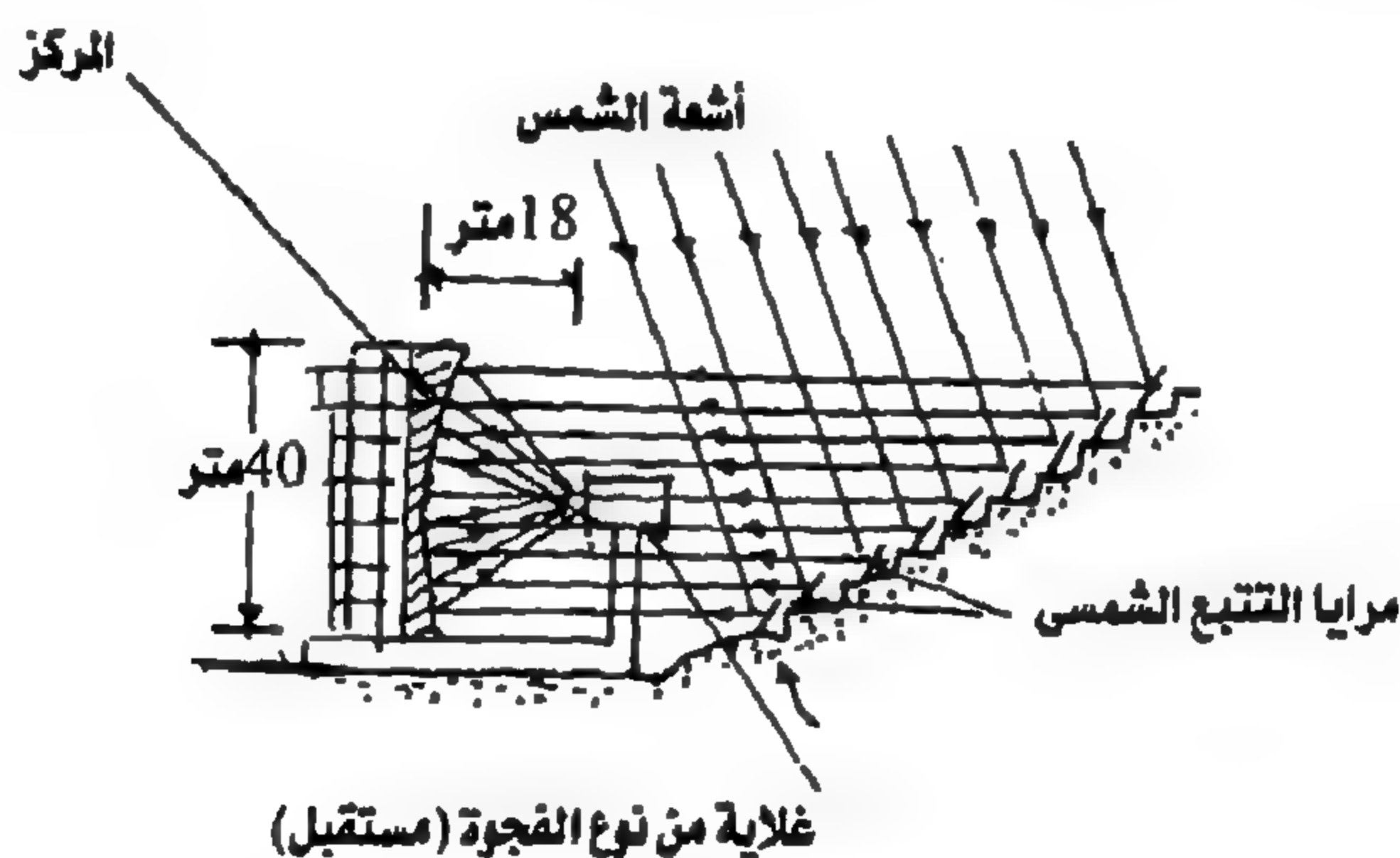
خلال النظام الكلي، يمكن إحضار مائع التشغيل إلى التصاق حراري مع وسط التخزين الصلب أو السائل بعد تركه للماص/ المستقبل وقبل دخوله إلى التربين. وسط التخزين السائل يكون مفضلاً لأن الانتقال الحراري يفضل بالحمل الحراري (Convection). في قليل من مشاكل التخزين الناتجة من عدم استمرارية سطوع

التوليد الشمسي للطاقة الحرارية

الشمس، يجب أن يصاحب برج محطة الطاقة الشمسية غلاية تعمل بالوقود. الغلاية التي تعمل بالوقود توفر الطاقة عند زيادة الطلب عن طاقة وحدة التخزين مثل خلال الليل أو حالات الغيوم. وكذلك يمكنها تعويض التغيرات الموسمية لسطوع الشمس. نظام مختلط (Hybrid) من هذا النوع يمكن إقامته اقتصادياً بإضافة الغلاية ببساطة إلى دائرة العمل. لذلك يمكن توفير الحرارة لوحدة توليد الطاقة إما من غلاية الوقود أو من المجمع الشمسي.

نظام محطة طاقة آخر مشابه يستخدم مصفوفات من المتتابعات الشمسية (الهيليوستات) بالمرايا الموجهة (المرايا التي يمكن تحويلها) لتركيز ضوء الشمس إلى غلاية من نوع الفجوة (Cavity type) قريباً من الأرض لإنتاج البخار لمحطة طاقة التربين الكهربائية. ضوء الشمس الساقط على الأوجه المرآوية (Mirrored faces) لنماذج المتتابعة الشمسية يتم انعكاسه وتركيزه في فجوة المبادل الحراري. طبقاً لهذا المبدأ، فإن الفرن الشمسي في فرنسا يعمل بواسطة الطاقة الشمسية. الشكل (12/14) يعطي فكرة للفرن الشمسي.

هذا الفرن الشمسي تم تصميمه عام 1973 بهدف استخدام الفرن الشمسي في الصناعة التي تتطلب درجة حرارة مرتفعة.



شكل (12/14) مبدأ الفرن الشمسي

في هذا الفرن الإشعاع الشمسي يتم إرساله إلى المركز باستخدام 63 متتابعة شمسية (هيليوستات) التي تنظم على ميل الجبل. المتتابعة الشمسية 6×7.5 متر تتكون من 80 مرآة ذات الظهر الفضي (Back silvered) أبعادها 50 سم \times 50 سم. اتجاه المتتابعة الشمسية (الهيليوستات) يتم تغييره بواسطة النظام الهيدروليكي المتصل مع نظام تتبع منظومة التحكم الموازنة (Servo-system) باستخدام الأنبوب البصري. يتكون مركز

القطع المكافئ 40×45 متر من 9500 مرآة مستوية ذات التظهير الفضي، 45×45 سم في البعد، التي تكون منحنية ميكانيكياً بدفع الوسط من الجانب الخلفي. المساحة المؤثرة للمركز هي حوالي 1900 متر مربع، الذي يوفر مدخل طاقة شمسية مقداره 1800 كيلوات. قوة الإشعاع المركز تقدر لتكون 1000 كيلوات مع الأخذ في الاعتبار الفقد بالانعكاس. البعد البؤري هو 18 متر، لذلك فإن نسبة الفتحة المؤثرة تقدر بـ 2.8. درجة الحرارة الممكن الحصول عليها تكون عالية حتى 4000 درجة كيلفن. من تجهيز الفرن الشمسي يمكن الحصول على درجة حرارة عالية حتى حوالي 3800° بواسطة نظام المجمعات التي تجمع طاقة الإشعاع الشمسي من مساحة كبيرة وتركيزه في حجم صغير. تتبعات شمسية أخرى يتم تنظيمها في مصاطب (Terraces) على سطح مائل (كما في حالة جانب التل) بحيث، بصرف النظر عن وضع الشمس فإنهم دائماً يعكسوا الإشعاع الشمسي في نفس الاتجاه على جامع عاكس من القطع المكافئ الضخم (أو الكروي) المصنوع من كثير من المرايا المثبتة المتصلة بوجه المنشأ. المجمع أو المركز عندئذ يحضر الإشعاع نحو البؤرة خلال حجم صغير (المستقبل). الفرن الشمسي يمكنه إمداد أقصى تركيز حراري مقداره 16000 كيلوات/المتر المربع.

تستخدم الأفران الشمسية في دراسات درجة الحرارة العالية للحراريات (أي درجة حرارة انصهار عالية) من الأكاسيد والمعادن في البيئة النظيفة. المكونات للنظم الكهربائية بالحرارة الشمسية، حيث يتم تركيز الطاقة الشمسية على مواسير الامتصاص المحتوية على مائع ناقل للحرارة، يمكن كلك اختبارها في الأفران الشمسية.

هـ- فكرة أو مفهوم الحقل (أو نظام المجمع المنتشر)

Farm concept (or distributed collector system)

الحقول الشمسية تم اقتراحها باستخدام مراكز حوض القطع المكافئ، طبق القطع المكافئ أو نوع آخر من المراكز لتركيز ضوء الشمس على ماسورة مركزية محاطة بأغلفة من الكوارتز المفرغ. درجة الحرارة التي يمكن الحصول عليها في هذا النظام قد تتراوح من 300° م إلى 1600° م. هذا نظام نسقي أو معياري (Modular) يتكون من مجمع القطع المكافئ في شكل الطبق لتركيز الإشعاع الشمسي على مستقبل لتسخين مائع التشغيل، مقرر مع مولد الطاقة (المحرك، مولد التيار المتغير) لتوليد الكهرباء. يمكن استخدام هذا كذلك في إنتاج حرارة للعمليات الصناعية. عندما تكون هذه النظم المعيارية مقرنة (Coupled) معاً فإنها تكون في وضع لإمداد الطاقة المطلوبة كنظام طاقة غير مركزي.

الأنواع الآتية من المحركات الحرارية المستخدمة عادة مع نظم الحوض، التطبيق القطع المكافئ.

1- محرك دورة رانكن.

2- محرك دورة رانكن العضوية.

3- محرك دورة ستيرلنج.

4- محرك دورة هواء - برايتون

في كل من تلك الدورات، يتم تمدد الغاز أو البخار الساخن خلال محرك أو تربين لإنتاج شغل وبدا يتم تبريده.

يتم بعد ذلك تبريد الغاز أو البخار للتخلص من الحرارة وأخيراً العودة إلى الحالة الأولية للحصول على الطاقة بالإشعاع الشمسي وبدا تكتمل الدورة.

كما سبق ملاحظته سابقاً، مجمعات الطاقة الشمسية المنتشرة قد تكون مفضلة لمحطات الطاقة الحرارية ذات طاقة صغيرة نسبياً (حوالي 2 ميجاوات أو أقل). من بين الاستخدامات الهامة لمثل هذه المحطات الصغيرة نوعين تحت الدراسة وهما:

نظام الطاقة الكلي، ضخ المياه لرى الحقول.

الطاقة الكلية (أو نظم التوليد المشترك):

Total Energy (or cogeneration) systems:

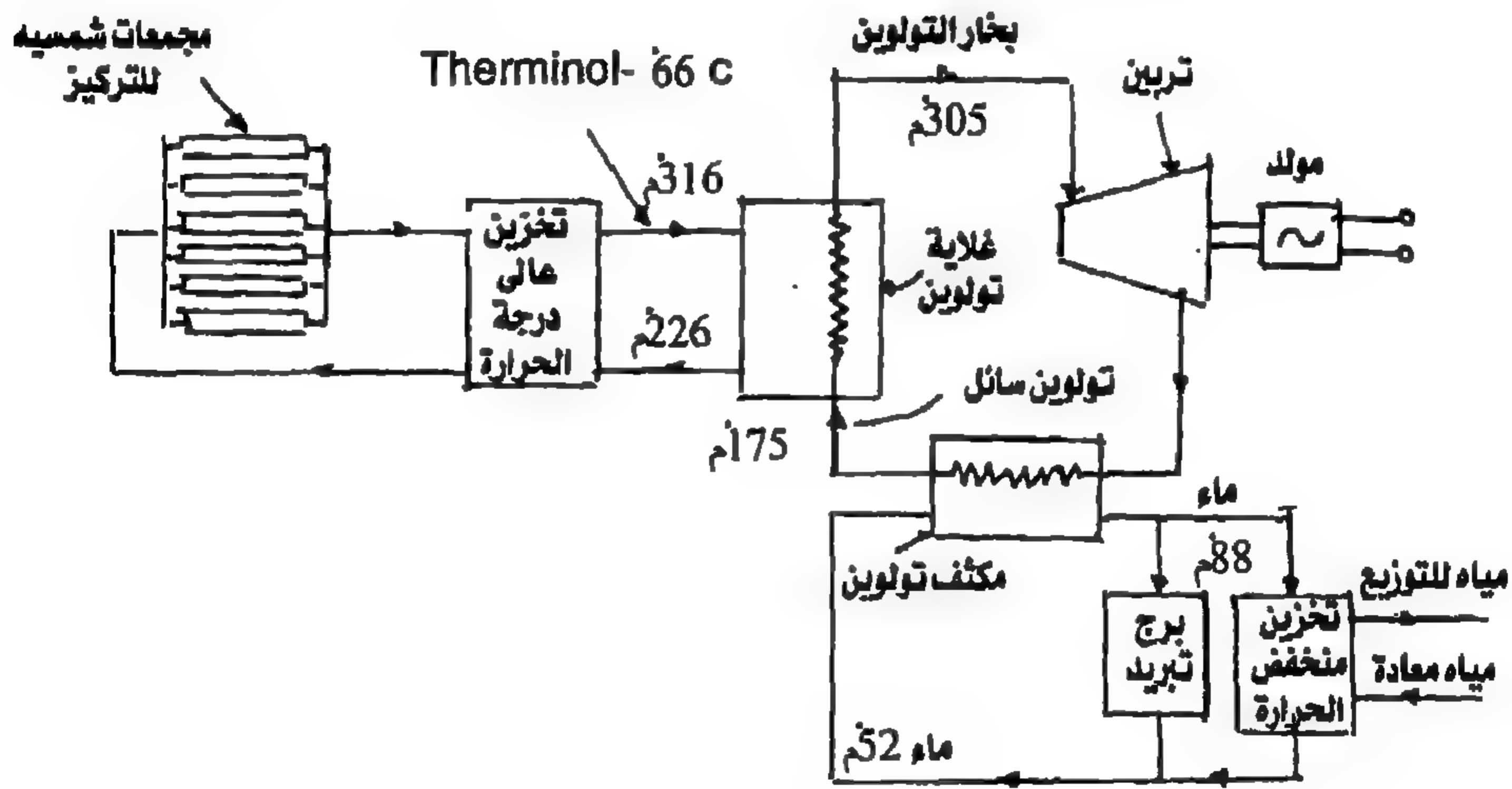
مفهوم الطاقة الكلية مبنى على الاستخدام المتتابع (أو الساقط) للطاقة الشمسية على مستويين مختلفين لدرجة الحرارة. أولاً، المائع الشغال عند درجة الحرارة العالية يمكن استخدامها لتشغيل التربين وتوليد الكهرباء بالطريقة العادية. ثم الحرارة التي تم صرفها في مكثف تبريد المياه عند درجة حرارة منخفضة يمكن استخدامها في تدفئة الفراغ والتبريد. البديل، في نظام التوليد، يمكن استخدام صرف التربين لتوفير البخار للاستخدام في الصناعة. لتكون الحرارة المنصرفة مفيدة فإن درجة الحرارة يجب أن تكون أعلا من في محطة توليد الطاقة الكهربائية بالبخار. نتيجة لذلك، تكون كفاءة التوليد الكهرباء أقل، ولكن هذا يمكن أن يكون أكثر من المقابل بالقيمة الاقتصادية للحرارة المنصرفة.

الاستخدام الممكن لنظم الطاقة الكلية (متضمنة التوليد المشترك) هو لإمداد الطاقة الكهربائية والتدفئة الفراغية والتبريد للمباني الضخمة، والمجموعة من الأسر المقيمة، أو لخليط من السكان والمباني ذات الأحجام المختلفة. يمكن أن تكون طاقة محددة، ولكن، فإن نظم التجميع التي بها توزيع ونشر المجمعات يمكن أن تحقق الوفرة الاقتصادية. إذا

التوليد الشمسي للطاقة الحرارية

كانت طاقة التصميم كبيرة جداً، فإن تكاليف المواسير والأرض للمجمعات تصبح إعاقة ولكن في حالة الطاقة الصغيرة جداً يمكن تحقيق تكاليف عالية للوحدة من توليد الكهرباء والتخزين الحراري.

يتم اختبار مختلف مجمعات التركيز البؤري أو التركيز والمكونات الأخرى لنظم الطاقة الكلية لإمكان تصميم وتشغيل نظم إثبات الكفاءة. في مخطط مقترح موضح في الشكل (13/14) يكون مائع الانتقال الحراري هيدروكربون ذو درجة حرارة غليان مرتفعة مثل (Therminol 66) للعمل في مصفوفة التركيز البؤري المنتشرة، المجمعات الشمسية من نوع الحوض. المائع يتم تسخينه إلى حوالي 316°C بالمرور خلال المجمعات، ثم تمريره خلال حوض تخزين حراري عند درجة حرارة مرتفعة. المائع الساخن يتم تمريره خلال المبادل الحراري (أو الغلاية) حيث التولوين (Toluene) وهو مائع تشغيل التربين، يتحول إلى البخار عند حوالي 305°C . بخار التولوين يتم تمده في التربين حيث يشغل المولد وينتج الكهرباء.

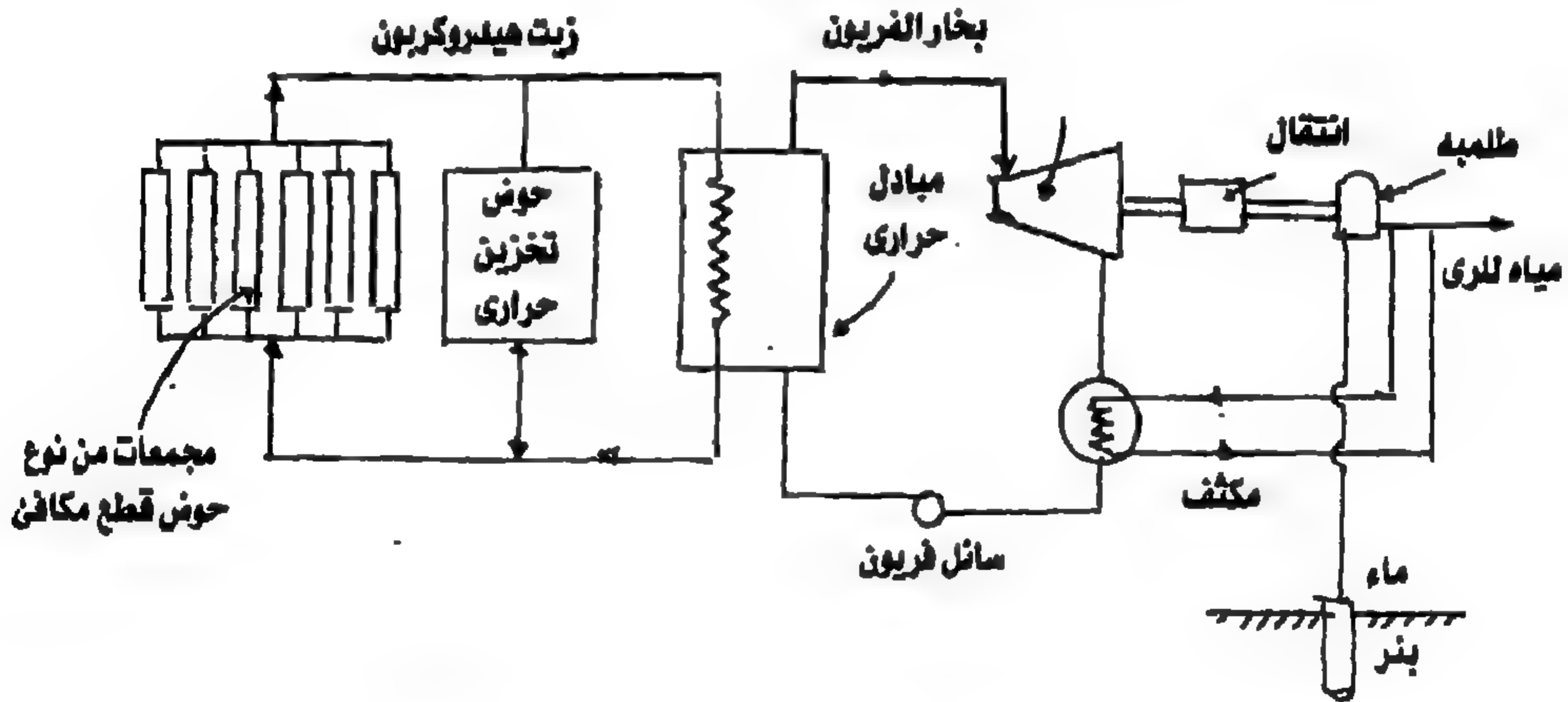


شكل (14/13) نظام اختبار اجمالي الطاقة الشمسية

مياه التبريد تترك مكثف التربين عند حوالي 88°C ، مقارنة مع 40°C أو أقل لمحطة الطاقة الكهربائية البخار. ذلك الماء الساخن يمر إلى حوض التخزين للاستخدام عند الحاجة في تدفئة الفراغ والإمداد الماء الساخن. درجة حرارة 88°C تكون كذلك مناسبة لتشغيل المكيف الهوائي من نوع الامتصاص شكل (14/13).

ضخ المياه لرى الأراضى :

طللمبات الرى ذات طاقة منخفضة نسبياً يمكن تشغيلها مباشرة بواسطة تربين البخار باستخدام الطاقة الشمسية، كما سبق وصفه تحت التطبيقات الحرارية المباشرة. فى حالة الآبار العميقة، يلزم استخدام طلمبات ذات قوة أعلا وهذه بفضل عملها بالمحرك الكهربى فى حالة مشروع الرى من الآبار العميقة (فى ولاية أريزونا) تستخدم الطاقة الشمسية لتسخين زيت الهيدروكربون إلى حوالى 290°C بالمرور خلال مصفوفة من مجمعات التركيز من نوع حوض القطع المكافئ. المائع الساخن يمر بطريقة خزان التخزين الحرارى إلى المبادل الحرارى حيث التولوين يغلى (عندئذ) لتوفير البخار لعمل مجموعة التربين المولد. تستخدم مياه الطلمبات كمبرد فى مكثف التربين كما هو موضح فى الشكل (14/14)، ودرجة الحرارة تكون زائدة مثل تلك فى محطة الطاقة التقليدية. الطاقة الكهربائية المولدة وهى (150 كىوات) تستخدم فى تشغيل محركات كهربية لتشغيل طلمبات الآبار العميقة.



شكل (14/14) تشغيل طلمبة تربينية تعمل بالطاقة الشمسية

التغطيات الانتقائية: (Selective coatings)

الكروم الأسود (Black chrome) هو أفضل طلاء انتقائى معروف. وله قوة امتصاص $\alpha = 0.95$ ، عند طول موجة مرئى وانبعائيه (In forced Emissivity) $\epsilon = 0.2 - 0.3$. وهى غير مكلفة ويعتمد عليها حتى 500°C . لا توجد مادة تغطية انتقائية مناسبة لدرجة حرارة أعلا حتى الآن.

تأثير التكلفة :

التكاليف الرأسمالية لإنشاء نظم الطاقة الشمسية لتوليد الطاقة الكهربائية هي حوالي 3 - 5 أضعاف التكلفة الحالية لنظم الوقود الحفري، ولكن التكاليف الجارية من الواضح أنها منخفضة جداً بالنسبة للنظام الشمسي، وقد ثبت أن محطة الطاقة البرجية (Tower) من المحتمل أن تكون اقتصادية في المجال 60 - 100 ميغاوات مكافئ. رغم أن اسطوانة القطع المكافئ أو نظام المجمع المجزء (Segmental) يمكن أن تصبح مكلفة لنقل الحرارة من الماص إلى المحرك، فإنها يمكن أن تكون مناسبة لمنشآت الطاقة الصغيرة والمتوسطة. تأثير التكلفة لمثل المنشآت الشمسية سيتحسن كثيراً في حالة الاستخدام المباشر لإنتاج بخار العمليات أو الماء الساخن للتبريد، مكيفات الهواء. يجب أن يؤخذ في الاعتبار نظام (Hybrid) (وهو نظام الخليط بين الطاقة الشمسية، الوقود) حيث يمكن استخدام الغلايات التي تعمل بالوقود الحفري بالإضافة إلى محطات التركيز الشمسي كما في حالة غيبة الشمس، حيث يعمل المصدر التقليدي بالوقود. في هذا النظام المخلط يمكن خفض التكاليف الرأسمالية إلى حد كبير. بحيث ملاحظة أن كثير من التقديرات الحالية للتكلفة وهمية إلى حد ما. الصورة الأكثر وضوحاً سوف تظهر في السنين القادمة حيث يتم تطوير خبرة الأداء بالنماذج التجريبية (Prote types) والمخططات الريادية لمختلف أنواع المركبات.



الفصل الخامس عشر

**التوليد الكهربى بالطاقة
الشمسية - الفولتية الضوئية**

**Solar Photo - Voltaics:
Electric Power Generation**

مقدمة :

الطريقة المفيدة لحصد الطاقة الشمسية هي بتحويلها مباشرة إلى الطاقة الكهربائية بواسطة الخلايا الشمسية الفوتوفولتية (Solar photo - voltaic cells). عند سقوط ضوء الشمس على خلايا شمسية (Solar cells)، فإنها تولد تيار كهربى مستمر (DC) بدون استخدام أى مولد ميكانيكى أى أنه فى هذا النظام لتحويل الطاقة فإنه يحدث تحويل مباشر للضوء الشمسى إلى كهرباء فى هذه الحالة مرحلة التحويل إلى الشكل الحرارى الديناميكي لا يكون موجوداً. يعرف التأثير الضوئى - الفولتى بأنه توليد قوة دافعة كهربية (Electromotive) نتيجة امتصاص للإشعاع المؤين (Ionizing). تجهيزات تحويل الطاقة المستخدمة لتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء باستخدام التأثير الضوئى الفولتى تسمى الخلايا الشمسية (Solar cells).

فى السنين القريبة توليد الطاقة الضوئية الفولتية (PV) حظى بتقدير كبير كأحد أهم البدائل الواعدة للطاقة. السبب فى ذلك الاهتمام الكبير يعود إلى التحويل المباشر للضوء الفولتى (PV's) لضوء الشمس إلى الكهرباء، وهى الطبيعة الغير ملوثة لإنتاج الطاقة بعيداً عن استخدام الوقود الحفرى والوقود النووى.

ولكن الاستخدام الكبير لمولد الضوء الفولتى تمت إعاقة وتقييده بعوامل اقتصادية، لذلك فبسبب انخفاض التكلفة لمصادر الطاقة التقليدية قد أعاق التطوير لتقنية الخلايا الفوتوفولتية. ولكن تم تبرير استخدام التوليد بالخلايا الفوتوفولتية فى حالات خاصة فقط، غالباً للمواقع البعيدة حيث خطوط الكهرباء أو وسائلها التقليدية لتوفير الطاقة تكون مكلفة. ولكن مع الارتفاع الرهيب حالياً فى أسعار البترول قد أصبح هذه التقنية اقتصادية.

الخلايا الشمسية (Solar cells) يتم تمييزها من التجهيزات التى يشار إليها كخلايا ضوئية (Photo cells) التى تكتشف كثافة الضوء باستخدام خواص التوصيل الضوئى للمواد (Photo conductivity). الخلايا الضوئية الشديدة الحساسية للضوء، نظراً لأن قدرتها على التوصيل قد تتغير طبقاً للتغيرات الصغيرة فى شدة الضوء. فإن تلك الخلايا الضوئية (Photo cells) تستخدم فى قياسات الضوء فى كاميرات التصوير. وهى لا تولد فولت ولذلك تتطلب بطاريات لعملها. الخلايا الشمسية (Solar cells) تم تطويرها خلال عام 1950 هذه الخلايا برهنت على أنها أفضل مصادر للطاقة للمهام خارج نطاق الأرض وأكثر من 1000 من الأقمار الصناعية استخدمت الخلايا الشمسية تم استخدامها خلال الفترة من 1960 إلى 1970. فى منتصف عام 1970 ثم عمل إجراءات لاستخدام

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

الخلايا الشمسية فى الاستخدامات الأرضية. منذ 1975 معظم استخدام الخلايا الشمسية كان على الأرض، رغم أنه مازالت المصدر الرئيسى للطاقة فى استخدامات الفضاء.

التأثير الفوتوفولتى يمكن ملاحظته غالباً فى أى وصلة للمواد التى لها خواص كهربية مختلفة، ولكن الأداء الأفضل الآن قد أصبح من الخلايا المستخدمة للمواد شبه الموصلة. خاصة أن كل الخلايا الشمسية المستخدمة لكل من الفضاء وفى الاستخدامات الأرضية قد تم عملها من مادة السيليكون شبه موصلة. الخلايا فى المستقبل قد تستخدم تلك المواد شبه موصلة مثل (Gallium arsenite , Capper sulphate , cadsuplide) الخ).

تحويل الطاقة الشمسية الفوتوفولتية هو واحد من مصادر الطاقة الغير تقليدية الواعدة ذات الاعتمادية من مستوى الميكرو إلى مستوى الميجا. مميزاتها هى:

- 1- التحويل المباشر لدرجة حرارة الحيز للإشعاع الشمسى إلى الكهرباء خلال تجهيزه بسيطة للحالة الصلبة.
- 2- عدم وجود أجزاء متحركة.
- 3- القدرة على الأداء بدون مراقبة لفترات زمنية طويلة كما هو واضح فى برنامج الفضاء.
- 4- الطبيعة النسقية المعيارية (Modular) التى فيها التيارات المطلوبة، فروق الجهد، مستويات الطاقة يمكن الحصول عليها بمجرد الإكمال والدمج (Integration).
- 5- تكاليف الصيانة منخفضة حيث يكون من السهل تشغيله.
- 6- غير مسبب للتلوث.
- 7- طول فترة الخدمة، وزيادة الاعتماد عليه إلى حد كبير.

بعض العيوب لهذه النظم :

العيوب الأولى التى يمكن التغلب عليها جزئياً بالتركيز، أما الثانية فهى عيب فى نظام نظم الفولتية الضوئية والذى يمكن التغلب عليه باستخدام بطاريات التخزين العادية. هناك جهود نحو خفض التكلفة لوحدة الوات خلال ابتكارات تكنولوجية فى معظم دول العالم.

يتكون نظام الفوتوفولتية (PV) من الآتى:

- 1- مصفوفة الخلايا الشمسية.
- 2- وحدة تسوية الحمل (load leveller).

3- نظام تخزين-

4- نظام تتبع (عند الضرورة).

لذلك فإن الخلية الشمسية تكون جزء فقط رغم أنها أهم جزء فى نظام الفوتوفولتية. فى الاستخدام الحقيقى، يتم توصيل الخلايا الضوئية فيما بينها فى مجموعات معينة على التوالي/على التوازي لتكوين نماذج نسقيه (Modules). هذه النماذج يتم غلقها بإحكام للحماية ضد التآكل، الرطوبة، والتلوث وعوامل التعرية. مجموعة من النماذج النسقيه تشكل مصفوفة (Array). متر مربع واحد من المصفوفة المثبتة المواجهة نحو الجنوب تنتج تقريبا 50 كيلووات ساعة من الطاقة الكهربائية فى يوم الإشماس العادى. فى حالة ضبط توجيه المصفوفة لمواجهة أشعة الشمس فى أى وقت، فإن الخرج يمكن أن يزيد بنسبة 30%. نظام الفوتوفولتية يمكنه إنتاج خرج فى حالة وجود ضوء الشمس فقط. فى حالة الرغبة فى استخدام خلال ساعات عدم سطوع الشمس، فإنه يلزم توفير نظام مناسب للتخزين من البطاريات. لمعرفة خصائص الخلايا الشمسية يلزم أولا معرفة خواص شبه الموصلات.

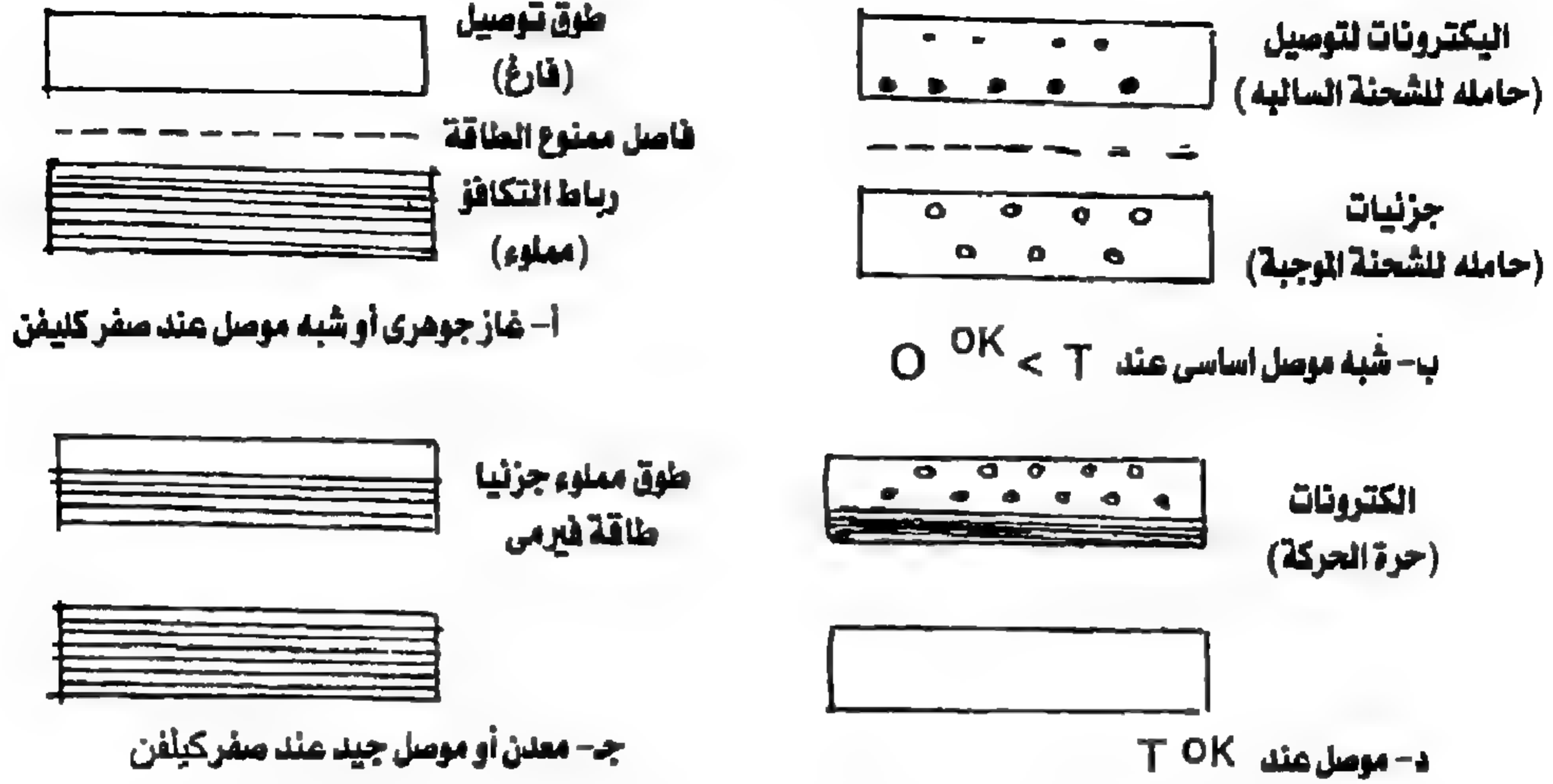
مبادئ شبه الموصلات: (Semiconductors principles)

القدرة على التوصيل للمواد الصلبة تختلف خلال مجال كبير. القيم المثالية تكون من أقل من 2×10^{-17} ميو/متر للفضة، الوصل الجيد. المواد ذات قيم التوصيل للمتوسطة تسمى شبه الموصلات. شبه الموصلات هى درجة من المواد ذات توصيل كهربى تقريبا ما بين المعادن والعوازل (Insulators). ظواهر التمييز للموصلات والعوامل وشبه الموصلات يتم أفضل شرح له بما يسمى نظرية الخدمة Band "theory" أو طاقة نظام الحزمة للمواد.

الذرات التى ليست جزء من النظام الأكبر تحتوى اليكترونات التى لها فقط مستويات طاقة منفرد (Discrete) أو وجود الكمية فى شكل مضاعفات لكم معين (Quantizes). ولكن، نظرا لأن الذرات تقترب من بعضها، فإن الإلكترونات المحيطة بالنويات (Nuclei) تبدأ فى التأثير والتفاعل التبادلى (Interaction) مع الإلكترونات من الذرات المجاورة. مبدأ بولى للاستبعاد (Pauli exclusion) (الذى يحكم حالات الإلكترونات فى البناء الذرى. كل مدار أو مستوى طاقة له قدرة ثابتة من الإلكترونات أو يمكنه احتواء عدد معين فقط من الإلكترونات) يحدد عدد الإلكترونات التى يمكن أن توجد عند أى مستوى طاقة مسموح به. عند اقتراب الإلكترونات من بعضهم البعض، فإن مستويات الطاقة المنفردة للإلكترونات للذرات المنفردة تتطابق (Overlap)

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

وتصبح حزمة من الطاقة المتاحة. مستويات الطاقة فى المواد الصلبة تمثل عادة فى مخطط واحد لبعد الطاقة كما هو موضح فى الشكل (1/15).



شكل (1/15) مخطط لطوى الطاقة بالعقد الواحد لمختلف أنواع المواد

توجد مناطق أو حزم التى يسمح فيها للإلكترونات بالوجود ومناطق أو حزم أخرى التى لا يسمح فيها للإلكترونات بالوجود خلال النظام. الخاصية الكهربائية للمادة تتحدد بمكان انتشار الإلكترونات خلال تلك الحزمة المسموح بها. الإلكترونات تكون باحثة باستمرار عن مستويات الطاقة المنخفضة ولكن تظل مثارة باستمرار إلى الحالات الأعلى بالتفاعلات مثل مع البروتونات. تمثيل الحزمة يكون فقط حيث يسمح للإلكترونات بالوجود ولا تظهر الطاقة الحقيقية التى للإلكترونات. انتشار الإلكترونات فى المستويات المسموح بها يمكن وصفه بمعادلة (Fermi) والتى تعطى الاحتمال $f(E)$ أن الحالة عند الطاقة (E) ، بواسطة الإلكترون وتكون كالتالى:

$$F(E) = \frac{1}{\text{Exp}[(E - E_f)/KT] + 1}$$

حيث :

$$f(E) = \text{دلالة فيرمى}$$

$$E = \text{الطاقة للحالة المسموح بها}$$

$$E_f = \text{طاقة فيرمى}$$

$$K = \text{ثابت بولتزمان}$$

$$T = \text{درجة الحرارة المطلقة}$$

مستوى طاقة فيرمى (E_f) يعرف بأنه الطاقة التى عندها احتمال حالة الامتداد بواسطة إلكترون تكون نصف واحد تماماً (one - Half). طريقة أخرى للنظر على طاقة فيرمى هو أنها أعلا حالة طاقة التى يمكن أن تكون لدى الإلكترون عند درجة حرارة صفر كلفن. فى الاتزان الحرارى الحركى (Thermodynamic Equilibrium) يكون مستوى طاقة فيرمى ثابتاً خلال المادة، وفى حالات عدم الاتزان تكون على الأقل عند عبر الالتصاق بين مادتين.

توزيع الإلكترونات فى الحزمة الخارجية أو أعلا طاقة يحدد الخواص الكهربائية والحرارية للمادة. هذا يشبه الإلكترون الخارجى فى الذرة. وإلكترون التكافؤ الذى يحدد غالباً الخواص الكيميائية للذرات.

إذا كانت المادة (مثل معظم المعادة) لها حزمة طاقة خارجية مسموح بها مملوءة جزئياً، فإن المجال الكهربى الخارجى المسلط يمكن أن يزيج مكان مستوى الطاقة ويسبب تدفق التيار. إذا كان حالة حزمة الطاقة المسموح بها فارغة تماماً فإنه من الطبيعى ألا يوجد إسهام إلى تيار كهربى فى تلك الحزمة. بالمثل، فى حالة الامتلاء الكامل للحزمة فإنه لا توجد مساهمة لتيار كهربى بتلك الحزمة. المواد التى لها أعلا طاقة إلكترونيات فى حزمة مملوءة تماماً تكون لذلك عوازل كهربية جيدة. الشكل (15/1) يبين حزم طاقة مبسطة للمعادن، العوازل، شبه الموصلات. أعلا حزمة مشغولة تقابل حالة المود (Ground state) لإلكترونات التكافؤ الخارجى ولذلك تسمى حزمة التكافؤ (Valence Band). فى العازل تكون حزمة التكافؤ كاملة الامتلاء. بالإضافة، فإن العرض بين فجوة الطاقة الممنوعة ما بين قمة حزمة التكافؤ والحزمة التالية المسموح بها، يسمى حزمة الحالة (Condition Band)، تكون كبيرة بحيث أنه تحت الحالات العادية فإن إلكترونات التكافؤ يمكنها عدم قبول من المجال المستخدم حيث لا يوجد حالات فراغ طاقة مسموح به ومتاح بسهولة. شبه الموصلات تكون مشابهة للعوازل فى شكل الحزمة باستثناء أنه فى حالة شبه الموصلات تكون فجوة الطاقة الممنوعة أضيق كثيراً. العازل الجيد عند درجة حرارة الغرفة يمكن أن يكون له فجوة طاقة ممنوعة بمقدار واحد فولت مكافئ فقط (I_{ev}). نظراً لأن شبه الموصلات لها فجوة طاقة ممنوعة أصغر كثيراً، فإن الإلكترونات يمكن أن تثار إلى حزمة التوصيل بسهولة بالوسائل إما الحرارية أو البصرية. فى حالة إثارة إلكترون عبر الفجة الممنوعة، فإنه يترك الفراغ فى حزمة التكافؤ، والذى يشار إليه كـ "hole". الإلكترون القريب من الثقب يمكن أن يقفز ليملاً هذا الفراغ، تاركاً ثقب جديد فى

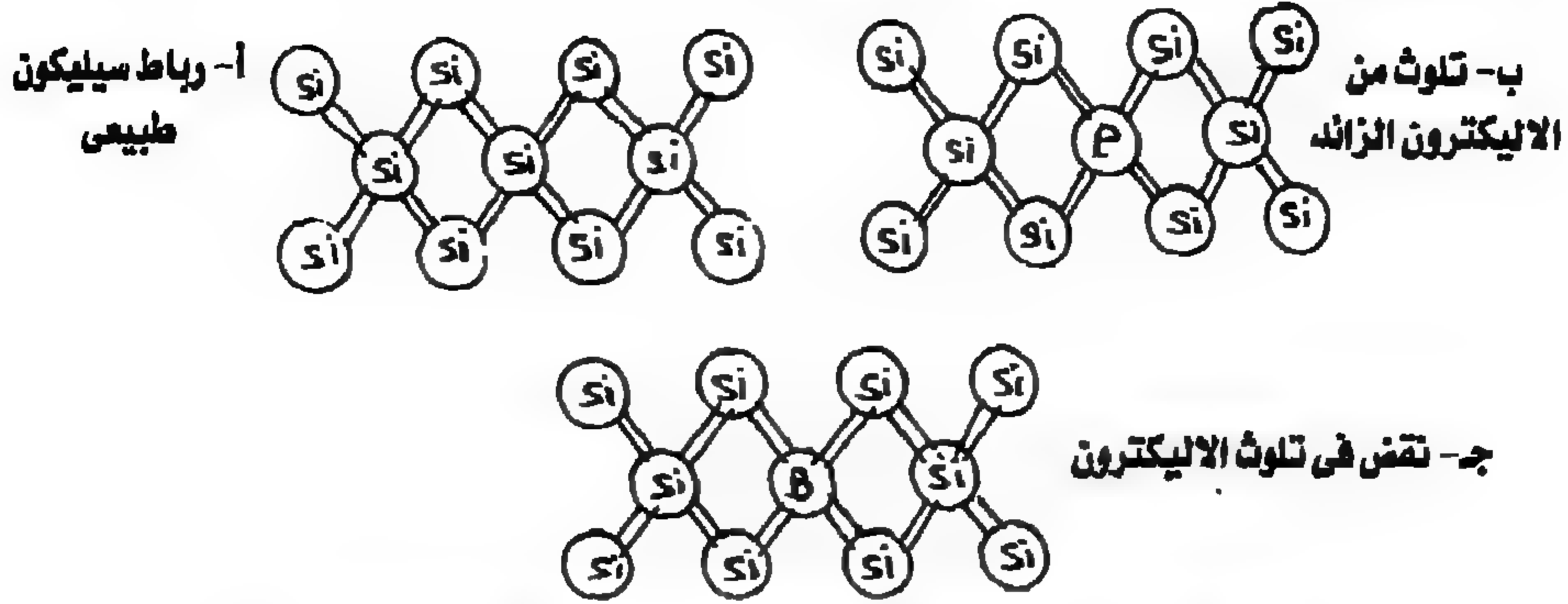
التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

المكان الذى كان يشغله، وهذا الفراغ يمكن امتلاؤه بالتالى بواسطة إلكترون آخر، وهكذا. يتم عندئذ حمل حقيقى للتيار بواسطة الإلكترونات المتحركة فى مراحل (Relays)، ولكن يمكن تصويرها بالتساوى كتدفق للثقوب ذات الشحنة الموجبة التى تتحرك فى الاتجاه المضاد. التوصيل الحرارى فى شبه الموصل يكون بسبب كلا من الإلكترونات فى حزمة التوصيل والثقوب. عندما يكون توصيل التيار فى شبه الموصل بسبب الإلكترونات المثارة من حزمة التكافؤ فقط إلى حزمة التوصيل، فإن المادة تسمى شبه موصل أصيل (Intrinsic semiconductor).

أى حيود عن الشكل الصحيح للبلورة سوف يحدث اضطراب فى التكرار الدورى للنظام (Periodicity of the system) وينتج عنه مستويات طاقة إضافية للإلكترون خلال وبين الحزم المسموح بها. عدم كمال أو نقص البلورات يمكن أن يأتى من العديد من المصادر مثل الذرات الغريبة، مواقع الشبكة الفارغة (Vacant lattice sites)، الذرات المقحمة فى النسق البلورى (ذرات خلالية) (Interstitial atoms)، إزاحة فى البلورة حدود المحبة، ومع سطح البلورة. معظم شبه الموصلات المستخدمة تجارياً تصنع مع ملوثات مضافة لإعطاء الخواص المطلوبة. بإضافة كمية صغيرة من الملوثات المسماة (Dopants) إلى بلورات شبه الموصل يكون من الممكن خلق رقم يمكن التحكم فيه لمستويات طاقة مسموح بها خلال فجوة الطاقة الممنوعة. المكونات المختلفة سوف تدخل مستويات طاقة فى أماكن مختلفة نتيجة لذلك يمكن تطوير المواد التى سوف توصل الشحنات غالباً إما بالإلكترونات أو الثقوب (Holes) فى المادة. عندما يكون التوصيل فى شبه الموصل بسبب الملوثات، فإن المادة تسمى شبه الموصل الأصيل الشكل (2/15) الشكل (أ) يبين الرباط الطبيعى الذى يوجد باقتسام الإلكترون فى بلورة السيليكون المثالية. استبدال ذرة الفوسفور كما هو موضح فى الشكل (ب) يجعل زيادة المتاح من الإلكترون. نظراً لأن هذا الإلكترون الزائد يكون معلقاً فى المكان بواسطة جاذبية كولومب فقط (Coulomb attraction) إلى ذرة الفوسفور، فإنه يمكن إزالتها وعمل التوصيل.

الملوثات مثل الفوسفور لها خمسة إلكترونات تكافؤ ولذا لها إلكترون زائد الذى يمكن بسهولة إزالته ليصبح إلكترون توصيل.

الملوث مثل البورون له ثلاث إلكترونات تكافؤ، حيث يوفر موقع مؤقت لأحد الإلكترونات الرباط الطبيعى.



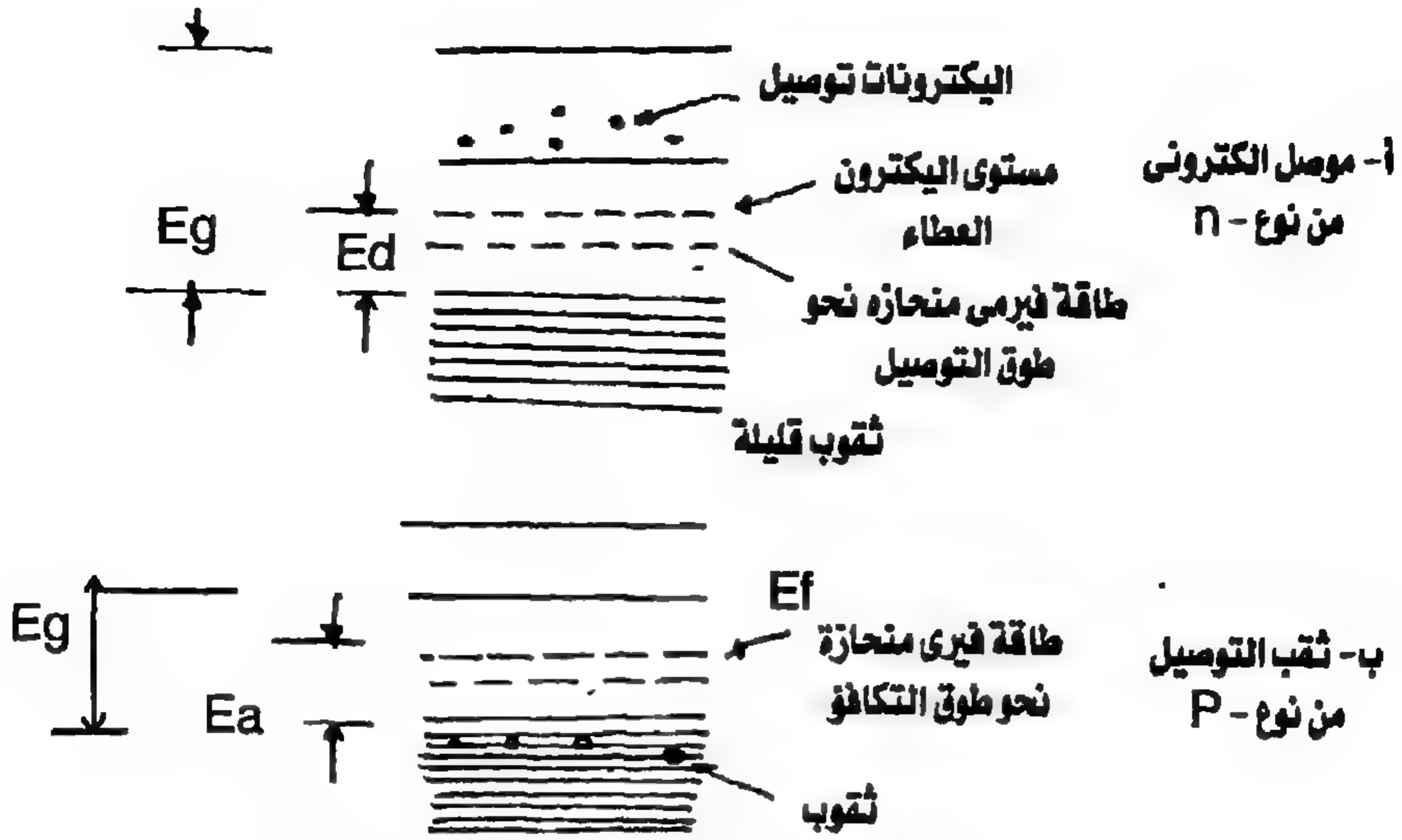
شكل (2/15) ذرات التلوث فى شبكة منظومة السيليكون

الاليكترون ذو طاقة أقل عن تلك اللازمة لتحريك إلكترون التكافؤ خلال فجوة السيليكون الممنوعة كلية. بطريقة مشابهة، الملوث مثل البورون الملوث مثل البارون له ثلاث اليكترونات تكافؤ، التى توفر موقع مؤقت لأحد اليكترونات الرباط العادى.

الاليكترونات ذات طاقة أقل كثيرا عن المطلوب لتحريك إلكترون التكافؤ، عبر كل فجوة الطاقة الممنوعة فى السيليكون بطريقة مشابهة الملوث مثل البورون الموضح فى الشكل (ج) له نقص واحد إلكترون بحيث أن السيليكون المجاور سوف يميل إلى المشاركة. إلكترون التكافؤ يمكن أن يقفز إلى إجمالى فجوة الطاقة. حركة هذا الاليكترون إلى ذلك الموقع سوف يخلق ثقب فى حزمة التكافؤ لتوصيل الشحنة الموجبة. كلا النوعين السابقين من الملوثات يوفر مستويات طاقة مسموح بها للإليكترون خلال فجوة الطاقة الممنوعة لمادة الأساس. حالة الإليكترون الزائد فى الشكل (15/3-ب) توفر مستوى معطى (donor level) الموضح فى الشكل (3/15-أ) الذى يقبل الاليكترونات من حزمة التكافؤ وبذا يتم عمل الثقوب الموجبة معظم الحامل للشحنة وهذا مادة النوع P- (P-type). لذلك يمكن للملوثات أن توفر اليكترونات زائدة، حاملات الشحنة السالبة، التى فى هذه الحالة تسمى مادة (n-Type) وإذا كانت الملوثات ناقصة فى اليكترونات التكافؤ، فإنها تسمى حاملات الشحنة الموجبة (P-Type).

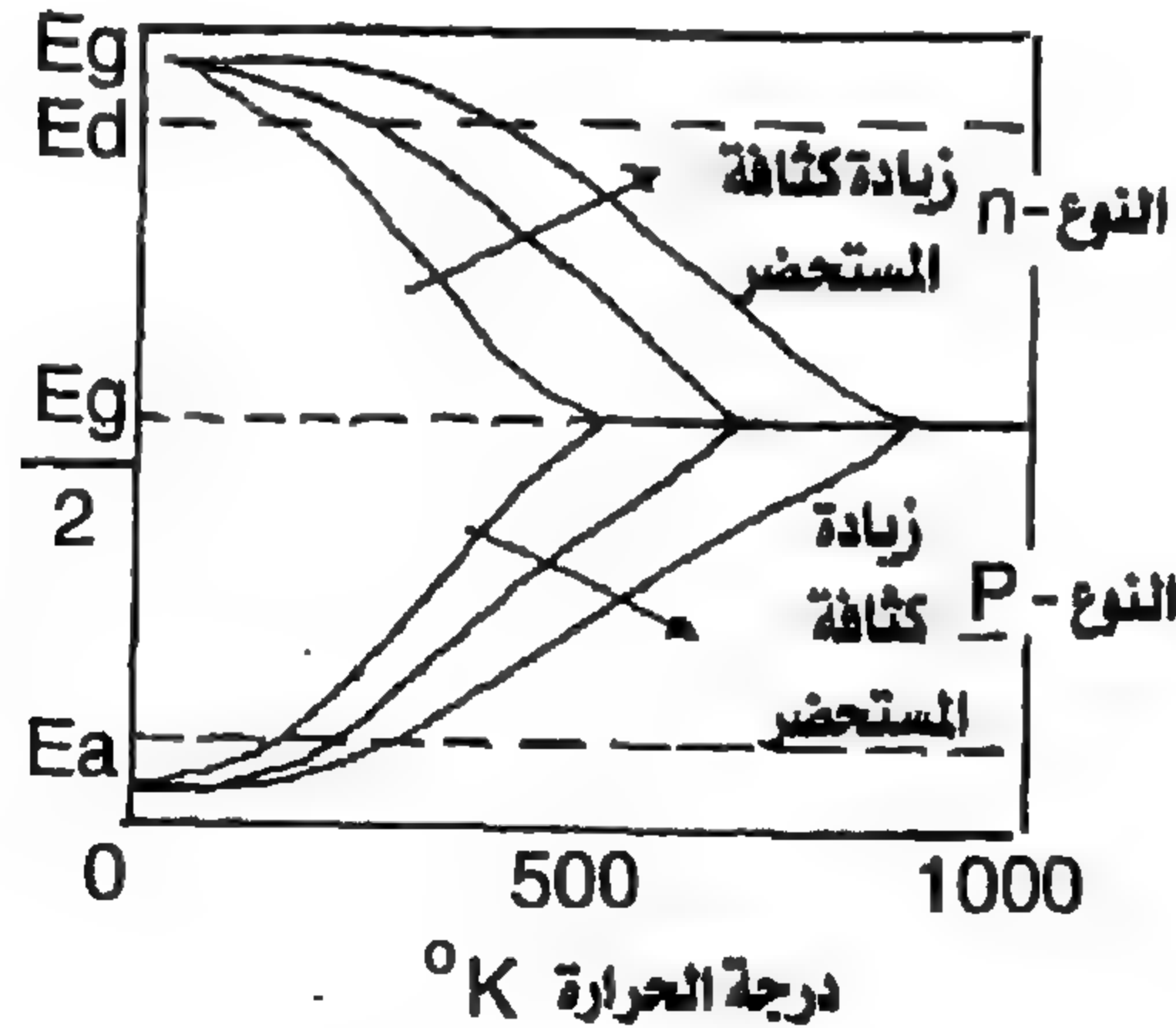
شبه الموصلات الأصلية لها مستوى طاقة فيرى عند متوسط فجوة الطاقة تماماً ($E_f = E_g/2$)، ويوجد نفس عدد اليكترونات التوصيل كما يوجد ثقوب. كما هو موضح فى الشكل (3/15) مستوى طاقة فيرمى فى شبه موصل أصيل يتم تحريكه نحو مستوى القابل (Acceptor level) (Ea) أو مستوى المعطى (Donor level) (Ed)، طبقاً لطبيعة الملوثات. المكان المضبوط لطاقة فيرمى فى تلك المواد يعتمد على مستوى (Doping) (ذرات الملوث فى السنتيمتر المكعب) ودرجة الحرارة المطلقة.

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية



شكل (3/15) مواد شبه موصله جوهريه نوع n - نتيجة الملوثات من الاليكترونات الزائدة التى يمكن اعطائها الى طوق التوصيل ، مادة النوع p - نتيجة الملوثات مع انخفاض عدد الاليكترونات التى يمكن أن تقبل اليكترون من طوق التكافؤ

الاعتماد على كل من مستوى (Doping) ودرجة الحرارة مبين تخطيطاً فى الشكل (4/15).



شكل (4/15) الاعتماد الكمي لطاقة فيرمي على درجة الحرارة ومستوى المستحضر من الملوثات . نظراً لأن كل مواقع القابل مملوءة مع زيادة درجة الحرارة ، فإن المادة تقترب من خواصها العنصرية مع اقتراب طاقة فيرمي وسط فاصل الطاقة الممنوع

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

نظراً لأن ذرة كل ملوث توفر الإلكترون واحد أو قابل مكان (Acceptor location)، فإن المادة تصبح أكثر فائز لكل شبه الموصل الأصلى نظراً لأن الكثير من تلك المواقع يكون مشغولاً. مع زيادة درجة الحرارة، يتم استخدام مواقع ملوثات أكثر وبالتالي فإن طبيعة الإلكترونات المثارة حرارياً خلال فجوة مستوى الطاقة الممنوعة يقترب من المستوى الأصلى حيث $(\frac{E_g}{2})$. تأثير زيادة درجة الحرارة سيكون له وصلة الخلية الشمسية (P-n) لإحضار طاقات فيرمى لكلا الجانبين أقرب، ولذا انخفاض خرج فرق الجهد والكفاءة.

مبادئ الفولتية - الضوئية: Photo - voltaic principles:

الطاقة على المستوى المجهرى يتم نقلها ليس باستمرار ولكن فى قطع منفردة (Discrete pieces)، أصغرهما هو الكم (Quantum) وهو أصغر مقدار من الطاقة يمكن أن يوجد مستقلاً. الضوء هو طاقة إشعاعية، حيث كنه يسمى الفوتون (Photon) أو الكم الضوئى. لقد كان (Max planck) أول من اقترح أن طاقة الكم الضوئى تتناسب مع تردد الإشعاع، أو

$$E_p = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

حيث:

E_p = طاقة الكم الضوئى (الفوتون)

$H =$ ثابت بلانك $6.6256 \times 10^{-36} \text{ J.s}$

$4.13576 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$

ν = تردد الإشعاع - هيرتز (Hz)

C = سرعة الضوء $(2.997925 \times 10^8 \text{ m/s})$

λ = طول موجة الإشعاع، متر

عند أى تردد (ν)، تكون طاقة الضوء مضاعفات ($h\nu$)، وليست جزء منها. لذلك الضوء له شخصيتين. فهو يتصف بكل من الطاقة المنقولة بكميات منفردة، الكم الضوئى (Photons)، فى موجات ذات تردد ولهذا، طول الموجة. الإشعاع من الشمس، أو أى مصدر مشع آخر، يكون لذلك مكوناً من كتل من الطاقة (Energy chunks)، الكم الضوئى (Photons) كل واحد يحمل كمية من الطاقة تساوى تماماً ترددها مضروباً فى ثابت بلانك. لذلك، فإن حزمة الأشعة ذات الجسيمات المتماثلة النوع والطاقة (The monoenergetic radiation beam) له طول موجة

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

نصف الميكرومتر (نصف ميكرومتر = 0.5×10^{-6} سم) طاقة الكم الضوئى الواحد هو :

$$E_p = 4.13376 \times 10^{-15} \times \frac{3 \times 10^8}{0.5 \times 10^{-6}} \\ = 2.48 \text{ev}$$

تذكر الآن، أن الانتشار الطيفى للإشعاع الشمسى الأرضى يتوقف على الانتشار والامتصاص لعدة مكونات. تذكر كذلك أنه يتوقف على كتلة الهواء (ma)، والتي تقدر

$$Ma = \frac{1}{\cos \theta_z}$$

حيث:

θ_z هي زاوية السميت (أى الاتجاهات الصحيحة). وهي تتوقف كذلك على عدد من السنتمترات من بخار الماء المرسب (W) فى الجو. (θ_z) تتغير خلال اليوم من أدنى θ_z التى تحدث عند الظهر وتلك المتغيرة مع المواسم ما بين θ_z يساوى خط العرض $\pm 23.45^\circ$ ، 90° . الكمية المفيدة فى حسابات الخلية الفوتوفولتية هي كثافة الكم الضوئى (ϕ_p) (Hoton flux) وهي تعرف بالآتى:

ϕ_p = عدد الكم الضوئى الذى يعبر وحدة المساحة (عادة سنتمتر مربع عمودى على حزمة الإشعاع فى وحدة الزمن - عادة الثانية).

كثافة التدفق الطاقة الشمسية (E'') مرتبطة بكثافة تدفق الكم الضوئى (Photon flux)

$$E'' = \sum_i \phi_p i h \nu$$

هنا الحرف السفلى (L) يبين التردد أو مجال الطاقة. تلك المعادلة يمكن تبسيطها بفرض متوسط التردد (ν_{av}) وطول الموجة المقابل λ_{av} والحصول على إجمالى كثافة تدفق الكم الضوئى

$$E'' = \phi_p h \nu_{av} = \phi_p h \left(\frac{c}{\lambda_{av}} \right) \quad \text{لذلك :}$$

خارج المجال الجوى للأرض فإن كثافة فيض الطاقة الشمسية يساوى الثابت الشمسى (Isc (Solar constant)

$$Isc = 1353 \text{W/m}^2 \text{ or } = 0.1353 \text{W/Cm}^2$$

وعند $m = \text{صفر}$ ، $W = \text{صفر}$

ومتوسط طاقة الكم الضوئى $h \nu_{av} = 1.48 \text{ev}$

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية لذلك

$$\phi_p (\text{Extraterrestrial}) = \frac{0.1353}{1.84} \times \frac{1}{1.6021 \times 10^{-19}}$$

$$= 5.8 \times 10^{17} \text{ photons/(s.cm}^2\text{)}$$

كلا من شدة الإشعاع الشمسى الأرضى (Terrestrial Insolation) ومتوسط طاقة الكم الضوئى يقل مع زيادة (m) وزيادة (w).

لذلك فإن كثافة تدفق الكم الضوئى تقل من (5.8×10^{17}) ، حوالى نصف تكل الكمية عند $(3=m)$ و $(5=w)$.

عند تصادم الأشعة الشمسية أى كثافة تدفق الكم الضوئى وصلة شبه الموصل (P-n) أى أنها تسبب ارتفاع الإلكترونات إلى حزمة التوصيل فى مادة (n) وتحرك الثقوب إلى حزمة التكافؤ فى المادة (p) عند اتصالها بحمل، لذلك فإن الإلكترونات سوف تتسرب من (n) إلى (P) عبر الوصلة، وبذا خلق تيار كهربى خلال الأحمال وبالتالي طاقة كهربية، والتى هى بدلالة كثافة تدفق الكم الضوئى.

مستوى فيرمى: مادة النوع (n-) لها توصيل أكبر من المادة الأصلية ذلك لأن الإلكترونات تدخل بسهولة حزمة التوصيل بالإثارة الحرارية. بالمثل النوع (p) له ثقب التى تدخل بسهولة حزمة التكافؤ. مستوى فيرمى هو طريقة وصيغة تحليله لشرح هذا (الشكل 5/15). إنه مستوى الطاقة الواضح خلال فجوة الحزمة الممنوعة (Forbidden Band gap)، والتى تثار (Excited) لتصبح حامل للشحنة. الاحتمال لهذا يتغير حيث $[-e\phi/kt]$ Exp وأن (e) هى شحنة الإلكترون والتقىب، $(e = 1.6 \times 10^{-19} \text{c})$ ، و (ϕ) هى فرق الجهد الكهربى بين مستوى فيرمى والتكافؤ أو حزم التوصيل طبقاً للمناسب.

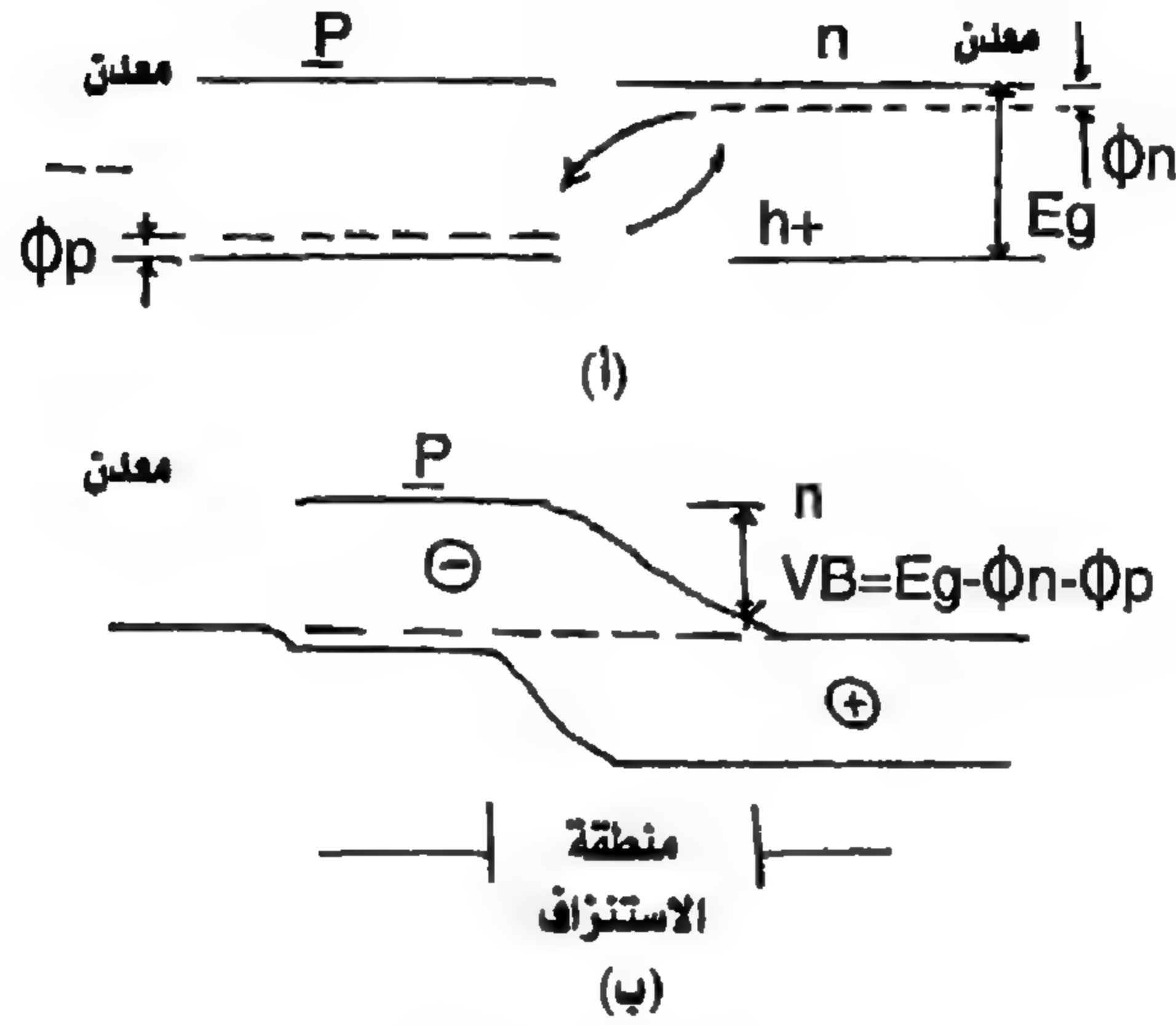
لاحظ أن الإلكترونات يتم إثارتها إلى أعلا (up) نحو حزمة التوصيل، والثقوب يتم إثارتها إلى أسفل (Down) نحو حزمة التكافؤ. الطاقة الكامنة تزداد إلى أعلا للإلكترونات وإلى أسفل للثقوب على المخطط التقليدى.

مادة وصلة النوع P- يمكن أن يكون لها ملوثات زائدة مانحة (Donor) مضافة على مناطق موصفه بحيث أن تلك تصبح النوع (n) فى المادة بخلاف ذلك المستمره، والعكس صحيح. منطقة مثل تغير (Dopan) تكون وصلة (التى لا تتكون بالوضع الطبيعى لقطعتين منفصلتين من المادة معا). تصور رغم ذلك أن الوصلة قد تكونت فى لحظة بخلاف ذلك المادة المعزولة الشكل (6/15-أ).

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية



شكل (5/15) مستوى فيرمى فى شبه الموصلات موضح بالخطوط الممهشرة



شكل (6/15)

أ- مخطط تكون خليه مشعه الموصل P-n . مستويات فيرمى للمكونات المعزولة موضحة بالخطوط الممهشرة .

ب- مخطط مستوى الطاقة لشبه الموصل P-n مع المعدن الموصلات الأومية (الغير معالجة) . الأليكترونات والثقوب قد تسريا للوصول إلى الاتزان .

زيادة الأليكترونات المانحة من مادة النوع (n-) تعبر إلى النوع (p-) القابل (Acceptor) والعكس صحيح للثقوب. يتم الوصول إلى حالة استقرار فى النهاية. المجال الكهربى، بسبب تراكم الشحنات ذات العلامة العكسية على كل جانب من الوصلة، توازن قوى الانتشار الناتجة من اختلاف التركيزات للأليكترونات الحرة والثقوب. نتيجة لذلك فإن مستوى فيرمى (Fermi) يكون عند جهد ثابت خلال كل المادة. ولكن التحرك النهائى للشحنة قد حدث، مع زيادة الشحنة السالبة على جانب (p) والشحنة الموجبة على جانب (n).

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

حزمة الفجوة (E_g) لازالت موجودة خلال المادة، ولذا فإن حزمة التوصيل والتكافؤ لها خطوة (Have a step) عند الوصلة كما هو موضح فى الشكل (ب). عمق الخطوة هي (V_B) فى الطاقة، V_B فى فرق الجهد الكهربى (الفولت). $V_B(i=0)$ هو جهد حزمة الجهد (Band step potential) عند تيار صفر خلال المياه وهو الجهد المكون فى المجال للوصلة المعزولة. لاحظ أن ($E_g > V_B$) لأن

$$V_B(i=0) = E_g - (\phi_n + \phi_p)$$

($\phi_n + \phi_p$) تقل مع زيادة تركيز (Dopant) بالنسبة للسيلكون المعالج بشدة (Heavily Doped si)، وصلة P-n (أيونات المعالجة -Dopant Ions , $E_g = 1.11\text{ev}$ $\phi_n + \phi_p = 0.3\text{v}$ و 10^{22}m^{-3})

لذلك فى لظلام مع تدفق التيار

$$V_B(i=0) = 0.8\text{v}$$

منطقة الاستنفاد أو النضوب:

ميزان الطاقة الكامنة يوازن الحاملات لكل جانب من الوصلة (الممثلة بواسطة استمرار مستوى فيرمى عبر الوصلة) ينتج عنه منطقة (النوع P-) ذات الشحنة السالبة (إلى أعلا Up على مخطط الطاقة) والعكس صحيح لمنطقة المعطى (Donor region). التأثير النهائى هو لسحب حاملات الإليكترون والنقب خارج الوصلة، تاركة لها ذات تصوب واستنفاد كبير فى إجمالى كثافة الحامل (Carrier). لنفترض n , p هما كثافات حامل الإليكترون والنقب. عندئذ فإن ناتج $np = C$ ، وهو ثابت خلال المادة. كمثال

(1) منطقة (P):

$$\begin{aligned} np &= C = (10^{11} \text{ m}^{-3}) (10^{22} \text{ m}^{-3}) \\ &= 10^{32} \text{ m}^{-6} \\ n + p &= 10^{22} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

(2) منطقة (n) :

$$\begin{aligned} np &= C = (10^{22} \text{ m}^{-3}) (10^{11} \text{ m}^{-3}) \\ &= 10^{32} \text{ m}^{-6} \\ n + p &= 10^{22} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

(3) منطقة الاستنفاد أو النضوب: n-p بالتعريف. لذلك

$$\begin{aligned} n^2 &= p^2 = C = 10^{32} \text{ m}^{-6} \\ n &= p = 10^{16} \text{ m}^{-3} \\ n + p &= 2 \times 10^{16} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

البيان النموذجى لهذا المثال يوضح أن كثافة الحامل للشحنة الكلية عند منطقة الاستنفاد والنضوب يقل بحوالى 10^5 مقارنة بكل جانب لمناطق P, n .

التأثير الفوتوفولتى يمكن ملاحظته فى الطبيعة فى مختلف المواد، ولكن المواد التى أظهرت أحسن أداء فى ضوء الشمس هى شبه الموصلات كما تم ذكره. عند امتصاص الكم الضوئى (Photons) من الشمس فى شبه الموصل، فإنها تنتج الإلكترونات حرة ذات طاقات أعلا عن الإلكترونات التى توفر الرباط فى البلورة الأساسية. بمجرد إنتاج تلك الإلكترونات الحرة، فإنه يجب أن يكون هناك مجال كهربى لتحث (Induce) تلك الإلكترونات عالية الطاقة للتدفق خارج صبة الموصل لأداء عمل مفيد. المجال الكهربى هو معظم الخلايا الشمسية يتم توفيره بوصلة من المواد التى تعطى خواص كهربية مختلفة.

للحصول على خرج الطاقة من تفاعل الكم الضوئى فى شبه الموصل، يلزم ثلاث عمليات:

- 1- الكم الضوئى (Photon) يجب أن يتم امتصاصه فى الجزء النشط من المادة وينتج عنه إثارة للإلكترونات إلى طاقة كامنة أعلا.
- 2- شحنة ثقب - القطب (Electrode - hole) الناتجة بالامتصاص يجب أن تكون منفصلة طبيعياً وتحركت نحو طرف الخلية.
- 3- حاملات الشحنة يجب إزالتها من الخلية وتسليمهم إلى الحمل المفيد أن يفقدوا طاقتهم الزائدة.

لإكمال العمليات السابقة، فإن الخلية الشمسية تتكون من:

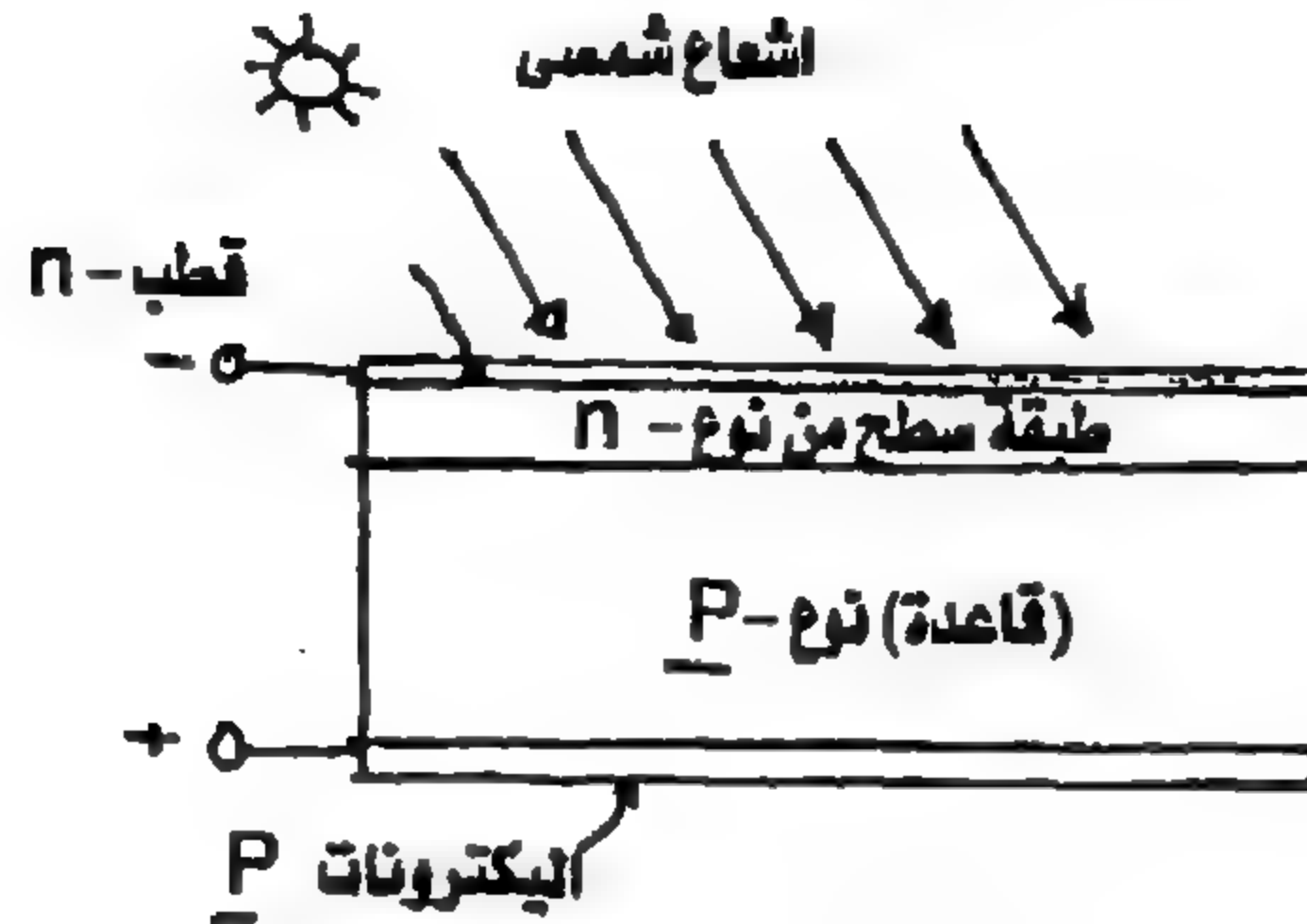
أ- شبه موصل الذى فيه زوج ثقب الإلكترون $Electron\ holepairs$ يتم إيجادهم بامتصاص الإشعاع الشمسى الساقط.

ب- منطقة محتوية على المجال المندفع (Drift field) لفصل الشحنة،

ج- مقدمة تجميع الشحنة وأقطاب الخلف.

التأثير الفوتوفولتى يمكن وصفه بسهولة بوصلة $(n-p)$ فى شبه موصل. فى شبه الموصل الأصيل مثل السيليكون، كل واحد من الإلكترونات التكافؤ الأربعة لذرات المادة تكون مرتبطة فى رباط كيميائى، ولا يوجد الإلكترونات حرة عند الصفر المطلق. إذا كانت قطعة من مثل هذه المادة تم معالجتها (Doped) بمادة ذات خمس إلكترونات تكافؤ مثل الزرنيخ أو الفوسفور، فإنه سوف يكون هناك زيادة من الإلكترونات فى ذلك الجانب، والذى يصبح من نوع شبه الموصل $(n-type)$. الإلكترونات الزائدة سوف تكون عملياً للتحرك فى شبكة شبه الموصل. وعند معالجة الجانب الآخر لنفس القطعة

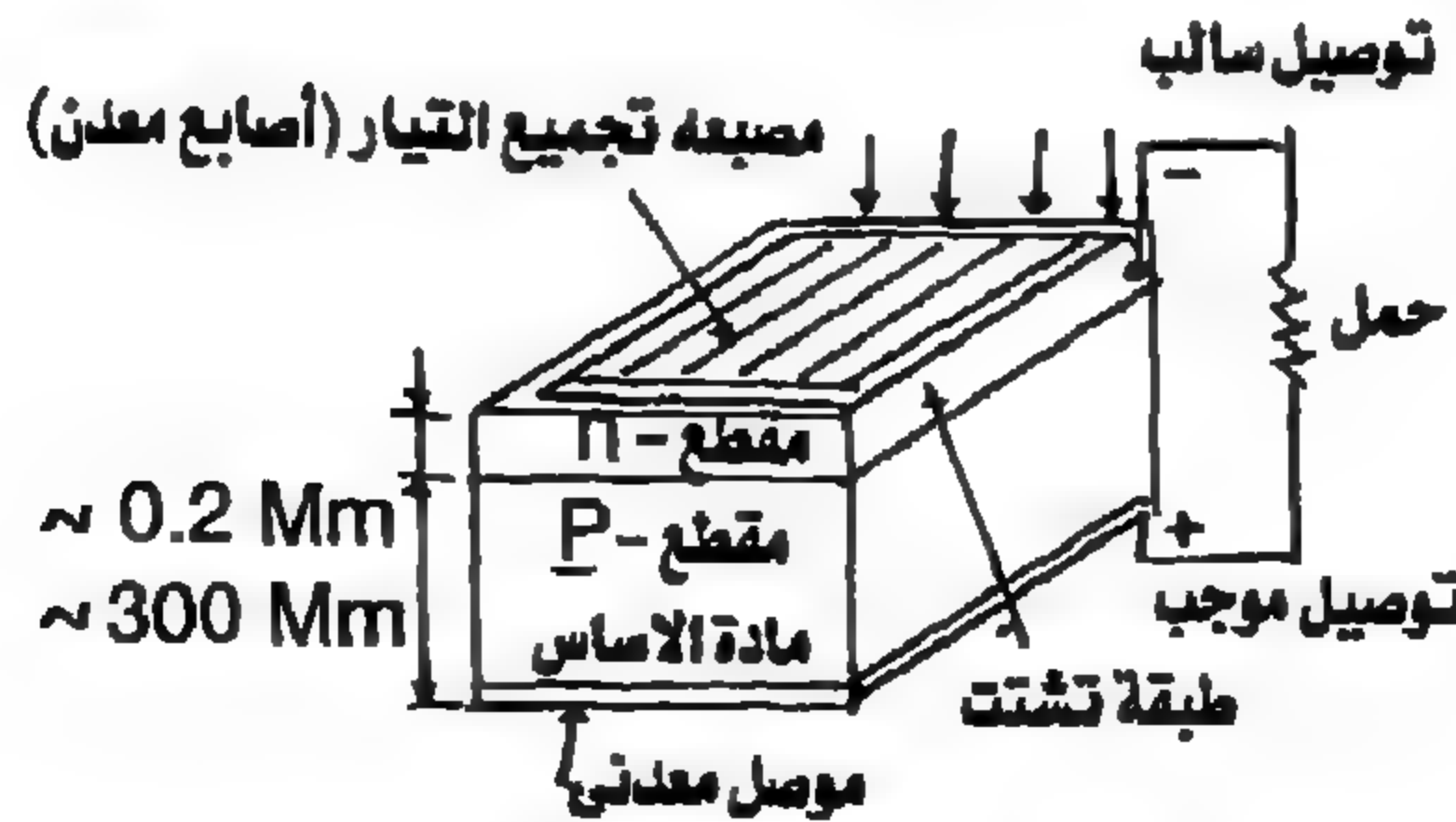
التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية
 بمادة ذات ثلاث اليكترونات تكافؤ، مثل البورون، فإنه سوف يكون هناك استنفاد ونضوب للاليكترونات والذي يؤدي إلى شبه الموصل من النوع (P-Type). هذا النضوب يعبر عنه بمصطلح زيادة الثقوب مرة التحرك فى الشبكة (Lattice). مثل هذه القطعة من شبه الموصل، ذات جانب واحد من النوع (P-Type) والآخر (n-Type) تسمى الوصلة (P-n)، الشكل (7/15).



شكل (7/15) نموذج n على P_ فوتوفولتى

فى هذه الوصلة بعد امتصاص الكمية الضوئية (Photons)، فإن الاليكترونات الحرة على الجانب (n-side) سوف تميل للتدفق نحو الجانب (p-side)، والثقوب الجانب (p-side) سوف تميل إلى التدفق نحو المنطقة (n) لتعويض النضوب لكل منهم. هذا التسرب (diffusion) سوف يخلق مجال كهربى (E_f) من المنطقة (n) إلى المنطقة (p). هذا المجال سوف يزداد لحين وصوله حالة الاتزان بالنسبة لـ (V_e)، مجموع جهود التسرب والثقوب والاليكترونات.

فى حالة عمل توصيل كهربى لكلا مادتين شبه الموصل والتوصيلات يتم توصيلها خلال موصل كهربى خارجى، فإن الإليكترونات الحرة سوف تتدفق من مادة النوع (n) خلال الموصل إلى المادة النوع (p) الشكل (8/15).



شكل (8/15) مخطط لنموذج خلية شمسية موضحة
 التنظيم الطبيعى لمعظم المكونات

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

هنا الاليكترونات الحرة سوف تدخل الثقوب (Holes) وتصبح اليكترونات مرتبطة (Bound). لذا فإن كلا من الاليكترونات الحرة والثقوب سوف تصبح ملغاة ومزالة. تدفق الاليكترونات خلال الموصل الخارجى تشكل تيار كهربى الذى سوف يستمر طالما يتكون الزيادة من الاليكترونات الحرة والثقوب بواسطة الإشعاع الشمسى. هذا هو أساس التحويل الفوتوفولتى أو الضوئى الفولتى (Photo voltaic)، أى تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربية. مجموع شبه الموصلات من النوع (n-type) والنوع (p-type) لذلك يشكل خلية فوتوفولتية (PV) أو خلية شمسية. كل تلك الخلايا يولد تيار مستمر (DC) الذى يمكن تحويله إلى تيار متغير (AC) عند الحاجة.

وصلة شبه الموصل: (Semiconductor junction)

الخلايا الشمسية الحديثة تستفيد من المواد شبه موصلة، عادة المبنية على بلورة السيليكون المنفردة. عند المعالجة بالفوسفور، الزرنيخ، أو الانتيمونى، فإن السيلكون يصبح شبه الموصل من النوع (n) الذى سبق وصفه، وعند المعالجة بالبورون، الألومنيوم، الانديام (Gallium , Indium)، فإنه يكون شبه الموصل من النوع (p). فى حالة التصاق شبه الموصل من النوع (p) مع واحد من النوع (n) فإنهما يكونا وصلة p-n أو (n-p). إذا كان كلا مادتين شبه الموصل مشتقة من نفس العنصر (أو المركب) مثل السيليكو، فإن النظام يشار له بـ الوصلة المتجانسة (Homo junction).

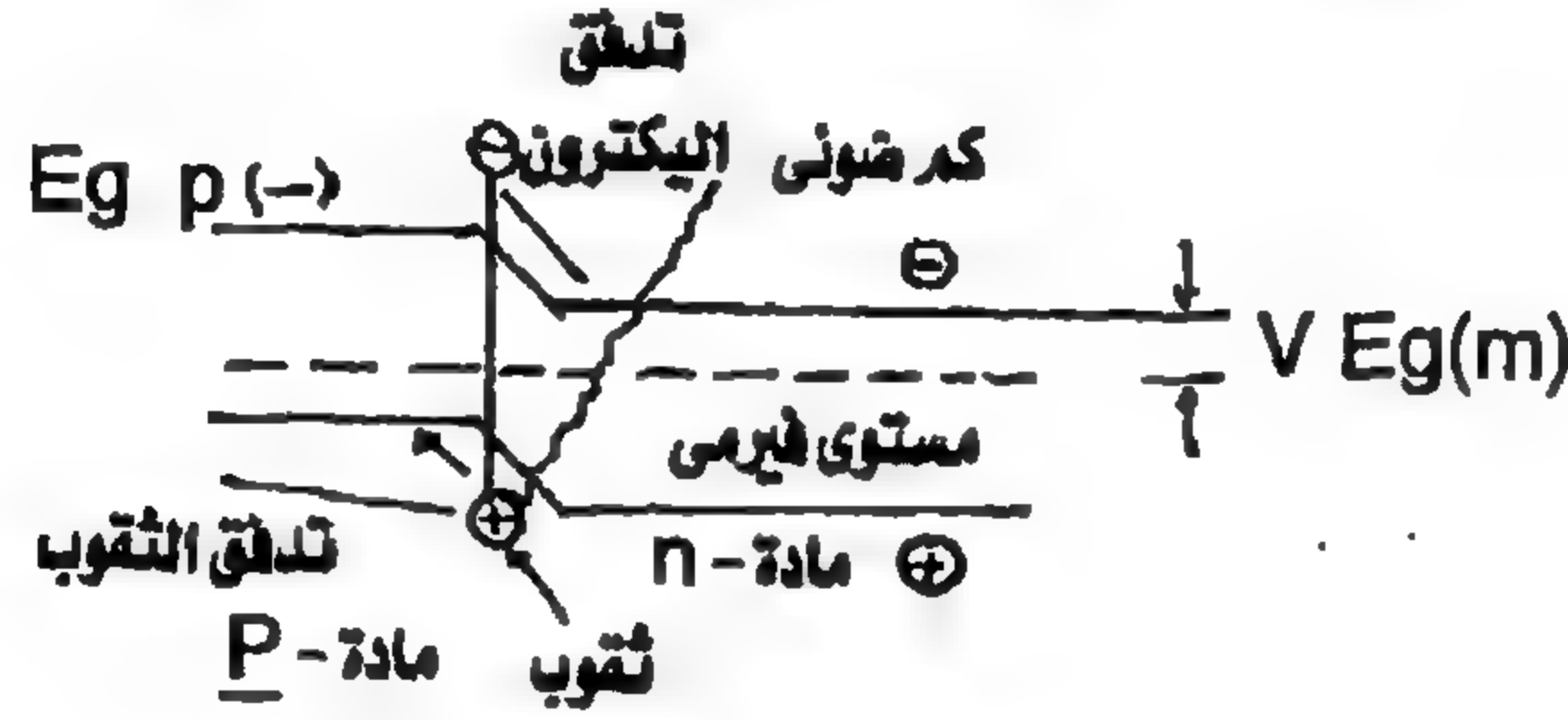
أنه من الممكن كذلك للوصلة p-n أو (n-p) لتتكون من مادتين شبه موصلتين مختلفتين مثل كبريتيد الكادميوم (Cds) وسلفيد النحاسوز (Cu_2S)، هذا يعرف بالوصلة الغير متجانسة (Heter junction). الأداء العام عن الوصلة كما تم توضيحه سابقاً هو نفسه بصرف النظر عن النوع. وصلة شوتكى (Shottkey junction) [أى وصلة المجال المتسارع فى الابتعاد الترميوني - اليكترونيات] المتكونة من شبه موصل ومعدن، هذه الوصلة يتم تكوينها بترسيب طبقة صغيرة من الموصل المعدنى (مثل البلاتين) على شبه الموصل من النوع (n) أو النوع (p). الخلايا الفوتوفولتية بوصلة شوتكى المصنعة من ما يسمى السيليكون الغير بلورى (Amorphous) تكون أكثر كفاءة مقارنة بالوصلة المتجانسة لخلايا (p-n) من نفس المادة. كذلك فإن تكلفتها أقل.

الشكل العادى للخلية الشمسية لعمل وصلة (p-n) لشبه الموصل موضح فى الشكل (15/8). وصلة المواد من النوع (p) والنوع (n) توفر مجال كهربى الملازم والذى يفصل الشحنة الناتجة بامتصاص ضوء الشمس.

الوصلة (p-n) هذه يتم الحصول عليها عادة بوضع معدن الأساس النوع (p) فى فرن تسرب المحتوى على المعالجة (Dopan) مثل الفوسفور فى السبيكة (Alloying)

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

والسماح بالمعالجة (n) (n-Dopan) للتسرب نحو السطح حوالى 0.2 ميكرومتر ($0.2\mu\text{m}$). الوصلة لذلك تتكون أسفل مستوى سطح الخلية والضوء يصطدم عمودياً نحو الوصلة. الشحنات الموجبة والسالبة الناتجة عن امتصاص الكم الضوئى تكون لذلك متحمسه للتحرك نحو الأمام والخلف للخلية الشمسية. الخلف يكون مغطى تماماً بالتوصيل المعدنى لإزالة الشحنات إلى الحمل الكهربى. جمع الشحنات من أمام الخلية يتم تعزيزه بواسطة شبكة رقيقة ذات الأصابع المعدنية الضيقة. تغطية السطح للمجمعات الموصلة (Conducting collectors) هى حوالى 5% للسماح بأكثر مما يمكن من الضوء للوصول إلى مساحة الوصلة النشطة. الطلاء المضاد للانعكاس يتم استخدامه على قمة الخلية. الشكل (9/15) يبين كيف أن تلك الوصلة (P-n) توفر مجال كهربى الذى يدفع (Sweeps) الاليكترونات فى اتجاه واحد والثقوب الموجبة فى الآخر.



شكل (9/15)

إذا كانت الوصلة فى حالة إتزان حرارى ديناميكى، عندئذ، فإن طاقة فيرمى يجب أن تكون متجانسة تماماً. نظراً لأن مستوى فيرمى يكون قريباً من قمة الفجوة (Gap) لمادة (n) المعالجة وقريباً من قاع جانب المعالج (p)، فإنه يجب وجود مجال كهربى عند الوصلة على شريطه أن فصل الشحنة دلالة الخلية. الخاصية الهامة لمستوى فيرمى هو أن، فى الاتزان الحرارى الديناميكى، يكون مستمراً دائماً عبر الاتصال بين المادتين.

كل من الخلايا الشمسية المستقلة سوف ينتج طاقة عند حوالى 0.5 فولت مع التيار الذى يتناسب مباشرة مع مساحات الخلية. الخلايا المنفصلة يتم توصيلها على التوالى-التوازى فى مجموعة لمقابلة متطلبات فرق الجهد، الطاقة التى يعتمد عليها لاستخدام معين. الخلايا الفضائية يتم تغطيتها بواسطة غطاء منزلق شفاف لامتناس الجسيمات عالية الطاقة فى الفضاء التى يمكن أن تحدث تلف فى الخلية وينتج عنه انخفاض للخروج. فى حالة الاستخدامات الأرضية إطارات الخلايا الشمسية يجب أن يتم تغليفها لحمايتها من التلف الجوى بسبب أكسدة اتصالات المعدن، والذى سوف يسبب التقشر

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

ومادة الدوائر المفتوحة مثل الزجاج، الأكليرك، المستخدمة لتوفير غطاء صافى للأطر (panels).

Power output and conversion Efficiency: خرج الطاقة وكفاءة التحويل :

الخلية الشمسية عادة تستخدم الوصلة (p-n)، شكلها الطبيعى موضح فى الشكل (6/15). العلاقة بين التيار وفرق الجهد طبقاً للمعادلة

$$J_i = J_0 [E_{xp} (V_e / KT) - 1]$$

حيث:

V = فرق الجهد خلال الوصلة

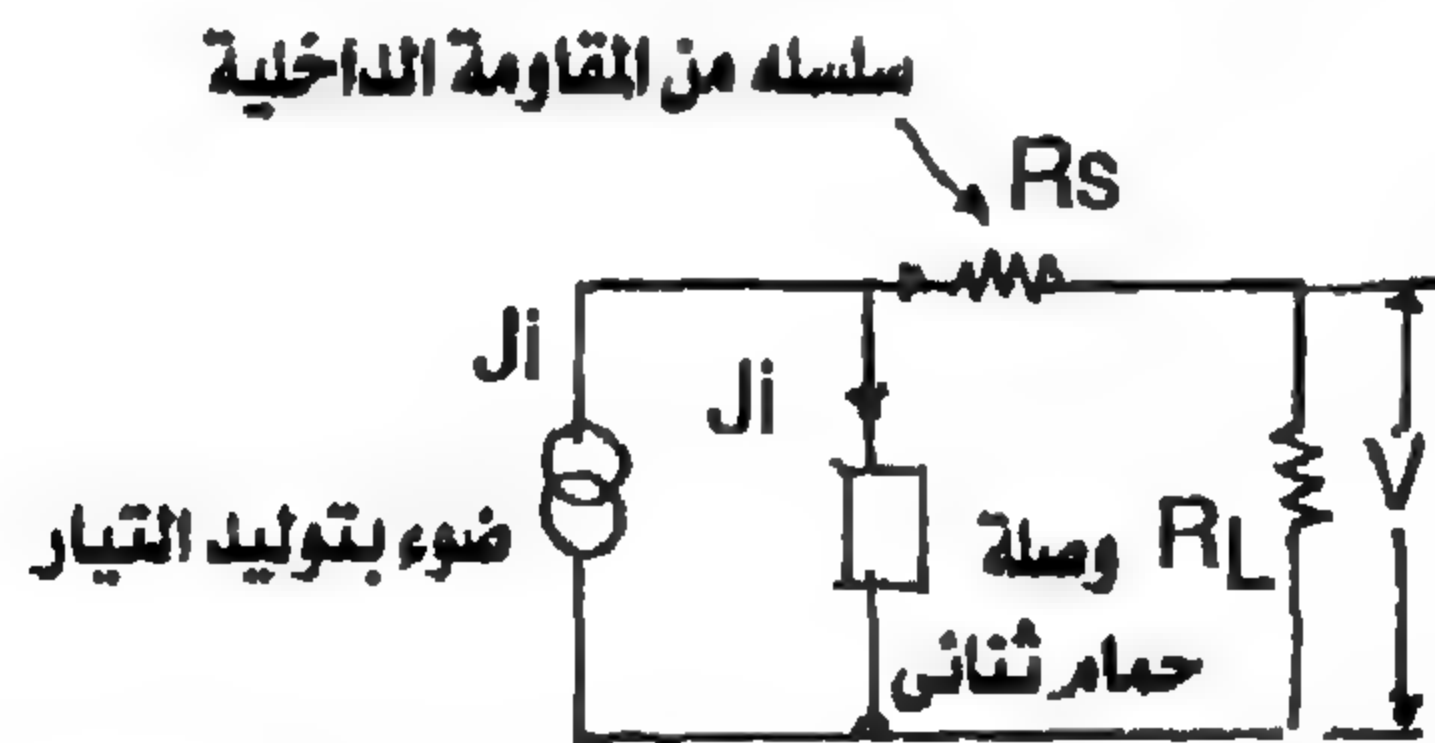
E = الشحنة الإليكترونية

K = ثابت بولتزمان

T = درجة الحرارة المطلقة

T_0 = تيار التشبع ويسمى كذلك التيار الأسود (Dark current) ويتم الحصول عليه عند استخدام فرق جهد سلبى عالى خلال صمام ثنائى (Diode)

عند سقوط الضوء على الوصلة، يتم خلق زوج ثقب الإليكترون (Electron - hole pairs) عند معدل ثابت حيث يتوفر التدفق للتيار الكهربى عبر الوصلة. التيار النهائى يكون لذلك الفرق بين تيار الصمام العادى والتيار المولد بالضوء (J_L). الدائرة المبسطة المكافئة للخلية موضحة فى الشكل (10/15).



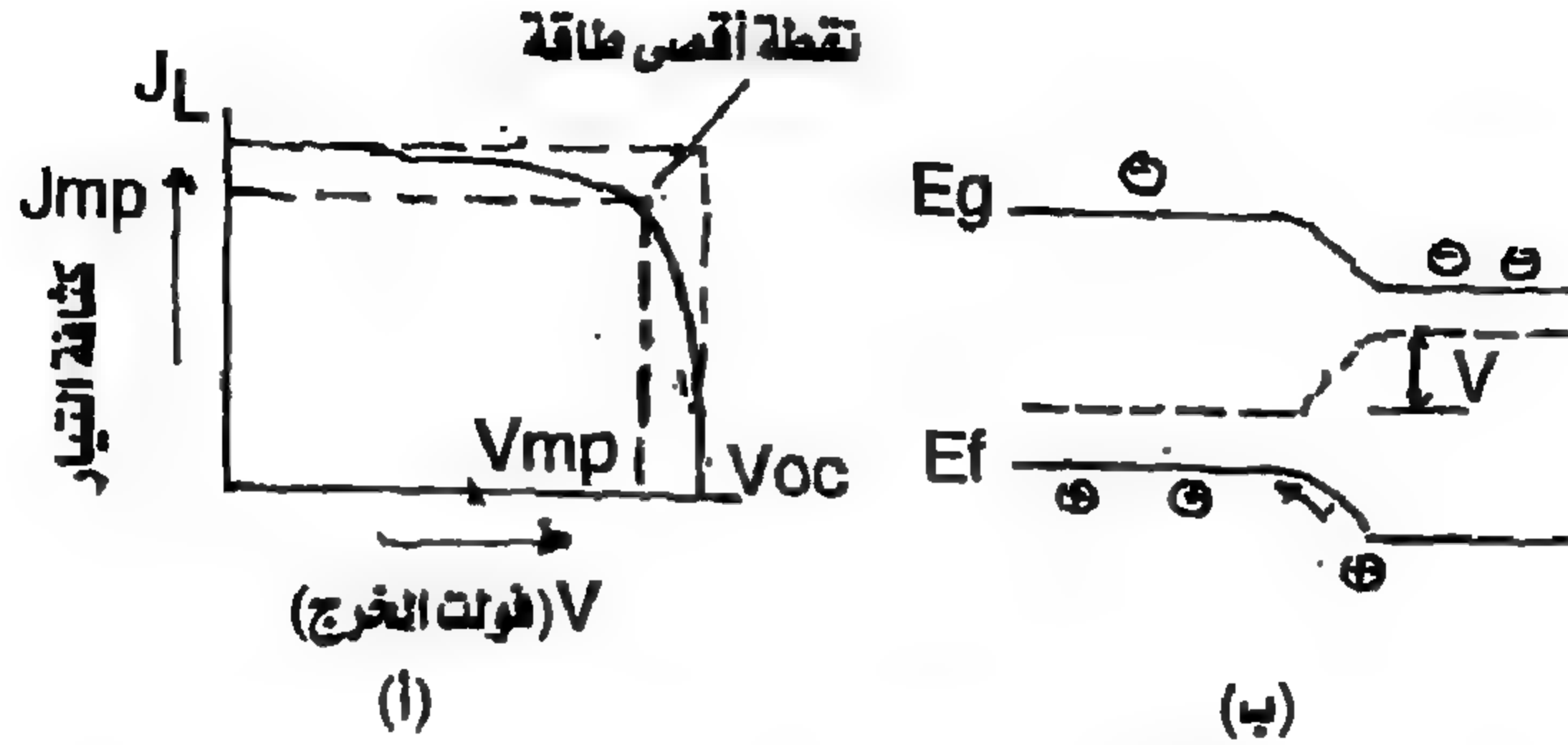
شكل (10/15) دائرة مكافئة للخلية الشمسية

المقاومة الداخلية على التوالى (R_s) تكون غالباً بسبب المقاومة العالية للصفحة (Sheet) للطبقة المنتشرة التى تكون على التوالى مع الوصلة. تيار الضوء الناتج يعمل كمصدر ثابت للتيار لإمداد التيار إلى إما الوصلة أو حمل مفيد طبقاً لخواص الوصلة وقيمة مقاومة الحمل الخارجى. التيار الصافى (J) يقدر طبقاً للمعادلة

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

$$J = J_L - J_1 = J_L - J_0 [E_{xp} [(V + J R_s) e/KT] - 1]$$

الهبوط فى الجهد الداخلى للخلية يمكن خفضه عادة وبالنسبة للخلية المثالية (Rs) يمكن افتراض أنه يساوى صفر. بالنسبة لتلك القيم المقابلة توقيع J-V يكون طبقاً للشكل (11/15).



شكل (11/15) منحنى J-v لخلية شمسية قياسية

جهد الدائرة المفتوحة V_{oc} للخلية المثالية يكون طبقاً للمعادلة

$$V_{oc} = (KT/e) \ln [(J_L/J_0) + 1]$$

$$\ominus J_L \phi \phi J_0$$

فإن 1 فى المعادلة يمكن إهماله

$$V_{oc} = \frac{KT}{e} \ln \left(\frac{J_L}{J_0} \right)$$

عملياً جهد الدائرة المفتوحة للخلية يقل مع زيادة درجة الحرارة
أقصى قوة يمكن استخلاصها من التجهيز تكون كالتالى:

$$P_{max} = V_{mp} \times J_{mp}$$

حيث:

J_{mp} , V_{mp} هما الفولت والتيار عند نقطة أقصى قوة (كما هو موضح فى الشكل (11/15) على التوالى.

يمكن ملاحظة أن أقصى كفاءة للخلية يتم الحصول عليها بقسمة V_{mp} , J_{mp} على إجمالى قوة كثافة ضوء الشمس (P_{sun}).
لذلك

$$\frac{V_{mp} J_{mp}}{P_{sun}} \text{ كفاءة الخلية}$$

$$= (J_L E_g / e P_{sun}) (J_{mp} V_{mp} / J_L V_{oc}) (e V_{oc} / E_g)$$

معامل الجهد معامل الملئ

معامل الملئ (Fill factor) للخلية الشمسية يعرف بأنه النسبة لمساحتين كالآتى:

$$\text{معامل الملئ } F.F = \frac{J_{mp} V_{mp}}{J_L V_{oc}} = \frac{P_{max}}{J_L V_{oc}}$$

مصمموا الخلايا الشمسية، يجاهدوا نحو زيادة قيم معامل الملئ لخفض الفقد الداخلى.

أقصى قوة يمكن تعريفها بالنسبة لـ J_L, V_{oc} وتعطى بالمعادلة التالية

$$P_{max} = J_L \times V_{oc} \times F.F$$

معامل الملئ يستخدم لقياس كفاءة عمل الوصلة جيداً وكيفية عمل المقاومة على التوالي منخفضة. القيمة المثالية لمعامل الملئ لخلية السيليكون الجيدة هو حوالى 0.08 معامل الفولت يتم تحديده بالخواص الأساسية للمواد فى الخلية وهو يكون مثالياً عند حوالى 0.5 لخلية السيليكون.

لكل من الأسباب النظرية والعملية، فإنه ليس كل طاقة الإشعاع الشمسى الساقطة على الخلية الشمسية يمكن أن تتحول إلى طاقة كهربية.

الكم الضوئى (الفوتونات) الضعيفة، منخفضة التردد (طول موجة طويل) ليس لديها طاقة كافية لإزاحة الإليكترونات. الفوتونات القوية، عالية التردد (طول موجة قصير) تكون عالية القوة، ورغم أنها تزيح الإليكترونات، فإن بعضاً من طاقتها يترك بدون استخدام.

تعرف الكفاءة بأنها نسبة الخرج من الطاقة الكهربائية للخلية أو النموذج أو المصفوفة إلى محتوى الطاقة لضوء الشمس فوق سطحه المعرض. لذلك فإن الكفاءة للنموذج أو المصفوفة يكون أقل عن ذلك للخلايا بسبب المسافات بين الخلايا. الجزء للخلية إلى المساحات الكلية يسمى معامل الحشو أو التعبئة (Packing factor). مقدار معين من الطاقة يكون مطلوباً لإنتاج إليكترون حر وتقب فى مادة شبه الموصل. فى السيليكون كمثال، أدنى طاقة هى 1.1 فولتات إليكترون (1.1 Electron volts) وهذه تكون متاحة فى الإشعاع الذى له طول موجة 1.1 ميكرومتر أو أقل. لذلك فإن الأشعة تحت الحمراء ذات الموجة الطويلة ليس لها تأثير فوتوفولتى فى السيليكون ولكن يتم امتصاصها بنسبة كبيرة كحرارة. كذلك، حتى أن طاقة الإشعاع ذات طول موجة قصير لا يمكن

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

استخدامها كاملاً، الطاقة الزائدة لذلك تلزم لتحرير إليكترون مرتبط تتحول ببساطة إلى حرارة. للأسباب السابقة فقط حوالى 45% من الطاقة فى الإشعاع الشمسى عند مستوى سطح البحر يكون قادراً على إنتاج إليكترونات وثقوب فى السيليكون. ولكن، بسبب المقاوم، الكهربائية لمادة شبه الموصل أى الفقد الكهربى ونماذج الفقد الأخرى كما فى حالة انعكاس جزء من الطاقة الشمسية ثانياً إلى السماء (الفقد بالانعكاس)، الامتصاص بواسطة الأسطح الغير فوتوفولتية، أو التحول إلى حرارة وإعادة الجمع لزوج الاليكترون الثقب، (العملية التى يتم تنشيطها بزيادة درجة الحرارة)، الكفاءة الحقيقية تكون أقل كثيراً. بالنسبة للنماذج والمصفوفات فإنه يوجد فقد إضافى الناتج عن عدم التطابق بين الخلايا المستقلة فى النموذج وبين النماذج فى المصفوفة. لذلك، فإن أفضل الخلايا ذات البلورة الواحدة تنتج كفاءات بحوالى 16-17%. الكتلة المنتجة للنماذج تنتج كفاءات نادراً ما تزيد عن 10%.

معظم الطاقة الشمسية التى تتحول إلى كهرباء فى الخلية الفوتوفولتية يتم امتصاصها كحرارة. فى الحالات التجارية، فإن خلية السيليكون ذات البلورة الواحدة ذات كفاءة تحويل حوالى 12%، فإن ما يزيد عن 80% من الطاقة الشمسية الساقطة تظهر كحرارة فى الخلية. مع زيادة درجة الحرارة، فإن كفاءة وصلة خلية السيليكون n-p تنخفض، كئمال، بالنسبة للخلية التجارية فهى حوالى 8% عند 100°م. الخلايا المصنوعة من (Gallium Arsenide) تكون متفوقة على خلايا السيليكون للعمل عند درجات الحرارة المرتفعة، ارتفاع تكلفتها يمكن عندئذ تبريره عند الاستخدام مع مجمعات التركيز. كفاءة التحويل لخلية (Gallium arsenide) الشمسية العملية هو تقريباً 18% عند درجات الحرارة العالية، 16% عند 100°م، 12% عند 200°م. جاليوم أرزينايد يعتبر ماص جيد للإشعاع الشمسى ووصلة n-p يمكن عملها من طبقات رقيقة لمادة عديدة البلورات (Polycrystalline). كفاءة التحويل العالية بمجمعات التركيز تم إثباتها بالخلايا المصنوعة من مجموع كلا من (Gallium aluminium)، و (Gallium arsenide). طرق زيادة كفاءة الخلية بجانب البحث لمواد أخرى تشمل:

التركيز، الفوتوفولتية الحرارية، ونظم التدرج (Cascade) المركبات (Concentrators) تحسن كفاءة الخلية. فهى تعرض الخلايا إلى ضوء الشمس المركز بوضعها عند بؤر القطع المكافئ (Foci of parabola)، أو مركبات الحوض. أظهرت الأبحاث أن كفاءات الخلية حتى 25% يمكن تحقيقها بتركيز حوالى 500 إشماس (500 suns).

التركيز له ميزات أخرى: مع التحسن فى الكفاءة، فإنه يلزم لكل وحدة خرج خلايا قليلة، ومصفوفات قليلة، إنشاءات ومعدة تتبع، والتكلفة العالية تصبح ممكن احتمالها إلى

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

حد ما. المركبات، رغم ذلك، أكثر تكلفة عن المصفوفات الفوتوفولتية للوح المستوى، وهى مؤثرة فقط مع الإشعاع الشمسى المباشر، أى باستثناء معظم إشعاع التسرب وفقد حوالى 15% من ذلك الإشعاع فى مختلف الفقد البصرى. بالإضافة فإن درجات الحرارة العالية للخلية والتيارات العالية الناتجة من الفقد الكهربى العالى. المركبات، لذلك، تكون مكلفة فقط إذا كانت نتيجة التحسن فى كفاءة الخلية تظهر فى زيادة أداء تلك المنتجة من مصفوفات اللوح المستوى.

النظم الفوتوفولتية الحرارية: (Thermo-Photo-voltaic systems)

اعتبرت فى وقت ما أنها متضمنة استخدام الضوء عالى التركيز الذى يمتص بواسطة مادة حرارية التى تصبح ساخنة وتشتع الطاقة الشمسية إلى خلايا السيليكون عند أطوال موجة أطول. أطوال الموجة هذه تتحول بكفاءة أكثر إلى الكهرباء بخلايا السيليكون. درجة الحرارة المطلوبة، هى القريبة من 1870 إلى 1920°م التى تسبب مشاكل حادة للمادة. يعتقد الآن أن النظم الحرارية الفولتية (Thermovoltaic) لا تحصل على كفاءات أعلا من النظم المركزة لإجازة درجات الحرارة المرتفعة هذه.

النظم المعاقبة أو المتوالية: (Cascade systems)

تلك النظم هى نظم عديدة الوصلات (Multi junction) التى فيها مختلف الخلايا تكون معرضة إلى مناطق مختلفة للطيف الشمسى التى عندها تعمل بكفاءة. مثل هذه النظم يعتقد أنها تنتج كفاءة تحويل حتى أعلا من 25%، ولكنها مازالت فى مرحلة التطوير.

خرج الحاققة (بالوات) لأى مولد كهربى، بما فيه الخلية الفوتوفولتية يساوى ناتج الفولت والتيار. نظرياً، خلية السيليكون الشمسية يكون لها فولت (1.1 فولت) من 1.1 إليكترون فولت الطاقة الإليكترونات الحرة المنتجة. عملياً، أقصى فولت هو حوالى 0.6 فولت ويحدث هذا على الخلية المفتوحة، حيث لا يتم إنتاج أى طاقة. أقصى طاقة لخلية السيليكون تحدث عند خرج فولت تقريباً 0.45 فولت. فى سطوع الشمس التام، التيار من الخلية التجارية يكون عندئذ حوالى 270 أمبير على المتر المربع من السطح المعرض. لذلك، الطاقة تكون حوالى الأتى $0.45 \times 270 = 190$ وات (0.12 كيلوات) على المتر المربع. المعدل الذى عنده تصل الطاقة الشمسية قمة الغلاف الجوى (أى ثابت الشمسى) هو 1.353 كيلوات لكل متر مربع (1353 وات لكل متر مربع). جزء من هذه الطاقة ينعكس ثانياً إلى الفراغ، وجزء يتم امتصاصه بواسطة الغلاف الجوى. فى حالة ضوء الشمس الساطع، فإن الطاقة الشمسية قد تصل الأرض بمعدل تقريبى 1 كيلوات/المتر المربع. نظراً لأن الطاقة الكهربائية المولدة بواسطة خلية السيليكون

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية
الشمسية التجارية هي 0.12 كيلوات/المتر المربع، فإن كفاءة التحويل لهذه الخلية تحديداً هي حوالى 12%.

الطاقة الكهربائية من الخلية الفوتوفولتية تتناسب تقريباً مع المعدل الذى عنده تسقط الأشعة الشمسية على سطحها. لذلك، فإن خرج الخلية ذات مساحة معينة يمكن زيادته بجمعها مع مجمعات تركيز. المجمعات المنتبجة من نوع الخط البورى يمكنها توفير تركيز مضاعف عدة مئات. مع المركز ذو القطع المكافئ المركب (الغير بورى Non-focusing)، فإن معامل التركيز بحوالى عشرة يمكن بدون تتبع. نظراً لأن المجمعات البورية تركز الإشعاع الشمسى المباشر فقط (ولكن ليست الإشعاعات المنتشرة)، فإنها تكون مفيدة فى المناطق ذات الإشعاس العالى. ولكن، هذا التحديد قد لا يكون قابلاً للتطبيق للمركز المركب بالقطع المكافئ نظراً لأنه يمكنه جمع الإشعاع المنتشر (المشتت).

Limitations to PV cell Efficiency: حدود كفاءة الخلية الفوتوفولتية:

الخلايا الفوتوفولتية تكون محدودة الكفاءة بكثير من الفقد، بعض من هذه يمكن تجنبه ولكن البعض الآخر يكون ملتصق بالنظام. بعض الحدود يكون واضحاً ويمكن إحكامه، ولكن البعض الآخر يكون معقداً ولا يمكن إحكامه بدون إنتاج تأثيرات متعلقة. فمثلاً، زيادة تركيز عامل الاشابة (المعالجة الكيماوية Dopant) يمكن أن يكون له كلاً من التأثيرات الجيدة والضارة.

بعض الفقد التقليدى لوصلة الخلايا الشمسية Si , p-n سيتم توضيحها ولكن عندما تكون كل العوامل قد روعيت، فإن الاستراتيجية النهائية لأقصى إنتاج تجارى تزداد تعقيداً.

فى البنود التالية الفقد يكون كنسبة مئوية من إجمالى الإشعاع الشمسى الساقط. معاملات الكفاءة تشير إلى نسبة الاشماس المتبقى الذى يمتص عند تلك المرحلة فى التوليد الكهربى الفوتوفولتى.

- 1- إعاقة الالتصاق بقمة السطح (الفقد ~3%). التيار الكهربى يترك السطح العلوى بواسطة شبكة من الالتصاقات المعدنية منظمة لخفض الفقد المتتالى للمقاومة فى السطح. تلك الالتصاقات لها مساحة محصورة ولذلك فإنها تغطى جزء من السطح النشط. هذا الفقد ليس دائماً محسوباً فى حسابات الكفاءة.
- 2- الانعكاسية عند قمة سطح (الفقد - 1%). بدون احتياطات خاصة، الانعكاسية من شبه الموصلات تكون عالية 40% من الإشعاع الشمسى الساقط. لحسن

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

الحظ هذا يمكن أن يكون منخفضاً إلى 3% أو أقل بواسطة طبقة سطح رقيقة أو معالجة أخرى.

عند اعتبار ثلاث مواد (هواء، غطاء، شبه موصل) لهم معامل انعكاس n_0, n_1, n_2 . بالنسبة لمواد العزل الكهربى فإن الانعكاسية بين مجالين هي:

$$P_{ref} = \frac{(n_o - n_1)^2}{(n_o + n_1)^2}$$

بالنسبة للهواء ($n_0 = 1$) إلى البلاستيك (يمكن $n_1 = 1.6$) ، $p = 5.3\%$. شبه الموصلات لهم معامل انعكاس ممثلاً بواسطة عدد معقد (نظراً لأنهم موصلين جزئياً) الذى يكون أحياناً مستقبليين بمتوسطات حوالى 3.5 فى المقدار خلال الطيف النشط. الانعكاسية فى الهواء تتغير من $P_{ref}(1.1\text{eV}) = 34\%$ إلى $P_{ref}(5\text{eV}) = 54\%$. الطبقة الرقيقة (السلك t) لمادة متوسطة بين الهواء وشبه الموصل.



الفصل السادس عشر

بعض من الطرق الأخرى
لاستخدام الطاقة الشمسية

سيتم وصف التطبيقات الآتية لاستخدام الطاقة الشمسية:

- 1- الأفران الشمسية.
- 2- المضخات الشمسية.
- 3- التقطير الشمسي.
- 4- الاستخدام الصناعي للطاقة الشمسية (التسخين)
- 5- الطهي الشمسي.
- 6- الصوبات الشمسية.
- 7- الإنتاج الشمسي للهيدروجين.
- 8- استخدام الطاقة الشمسية في الفضاء.
- 9- التحويل الحراري الكهربائي.
- 1- الأفران الشمسية:

مقدمة :

الفرن الشمسي هو جهاز للحصول على درجات الحرارة العالية بتركيز الإشعاعات الشمسية على عينة. استخدمت الأفران الشمسية لمدة طويلة في البحوث العلمية. العالم الفرنسي لافوازييه استخدمها في عام 1774 بعدسة في طول الرجل، لعمل الدراسات الكيميائية عند درجات الحرارة المرتفعة. في عام 1921 العالم الألماني (Strauble) طور فرن شمسي مكون من مركز القطع المكافئ وعدسة. ثم بنى فرن آخر الذي استخدم فيه مركز القطع المكافئ، بفتحة 2 متر والبعد البؤري 86 سم، حيث ثبتت مواجهها إلى أسفل وتم إرسال الإشعاع الشمسي إلى أعلا بواسطة الهيليوستات (مرايا متحركة). في الولايات المتحدة في عام 1951 تم إنشاء فرن باستخدام المركز من الألومنيوم، بفتحة 3 متر، وطول البعد البؤري 86 سم. وفي فرنسا قام (Jrombe) ببناء فرن ضخمة عام 1962 مكونا من الهيليوستات (الأداة التي تعكس أشعة الشمس في اتجاه واحد) ومركز له محور بصرى أفقى، فتحة 10 متر وطول البعد البؤري 6 متر. بعد ذلك تم بناء أفران ضخمة في الجزائر، الولايات المتحدة، اليابان وفرنسا. أسس العالم الفرنسي (Tromble) فرن ضخمة في فرنسا عام 1973، للاستخدام الصناعي عند درجات الحرارة العالية.

الأفران الشمسية ذات أحكام بصرى عالية الدقة أعطت درجات حرارة تزيد عن 3000°م. الميزة الرئيسية للفرن الشمسي تقع في حقيقة أن التسخين يتم بدون أى تلوث ودرجة الحرارة يكون من السهل التحكم فيها بتغيير وضع المادة في البؤرة. الفرن

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

الشمسي وسيلة ممتازة لدراسة خواص مواد السيراميك عند درجات الحرارة العالية أعلا من المجال الذي يتم قياسه عادة في العمل باللهب والتيارات الكهربائية. القياسات الطبيعية تشمل نقطة الانصهار، تغير المجال، الحرارة النوعية، التمدد الحراري، التوصيل الحراري، الحساسية المغناطيسية، والانبعث الحراري الأيوني (Thermoionic Emission). تم عمل العديد من العمليات الميتالرجية والكيميائية المفيدة عند درجات الحرارة العالية في الأفران الشمسية. انصهار وتلدين (Sintering) للسيراميك عند درجات الحرارة المرتفعة مثل الزركونيا يتم تنفيذه بسهولة. الإنتاج المباشر عند درجة الحرارة العالية للزركونيا من الزركون والفلوى، البيريليوم من بيريل والتنجستن من (Wolframite) يتم في الأفران الشمسية. يتم كذلك تنقية حراريات (Al_2O_3) بالتطير (Sublimation) عند درجة الحرارة العالية.

العناصر الرئيسية والشكل الهندسي للفرن الشمسي :

العناصر الرئيسية للفرن الشمسي هي المركز (Concentrator)، الهيليوسكوبات (المتابعة الشمسية - وهي مرآة دوارة تعكس أشعة الشمس في اتجاه واحد) ونظام تتبع الشمس. الإشعاع الشمسي متوازي تقريباً حيث الزاوية المقابلة للشمس هي $32'$ ، وتستخدم مرآة القطع المكافئ المناسبة كمركز من نوع العاكس. الشكل الهندسي للقطع المكافئ يعرف بالفتحة (D) والبعد البؤري (f). إجمالي الطاقة الشمسية الساقطة على مرآة هي $(1/2\pi D^2 \cdot HB)$ ، حيث HB هي كثافة الإشعاع الشمسي المباشر على الأرض، والذي له قيمة من 1.3 - 1.4 كالوري/المتر المربع في الدقيقة أو $(0.98 - 0.91 Kw/m^2)$. لذلك، فإن الفتحة تحكم مدخل الطاقة للفرن الشمسي. حجم وكثافة صورة الشمس يتحدد بواسطة البعد البؤري ونسبة الفتحة (F/D). مرآة القطع المكافئ من الضروري أن يكون سطحها ناعم مع دقة الشكل الهندسي وقوة الانعكاس العالية. في بعض الأفران من نوع السقوط المباشر، على مرآة الألومنيوم استخدمت لمنع الحادثة الناتجة عن إراقة المادة المنصهرة. ولكن، يكون من الصعب جداً الحصول على سطح ناعم بصرياً من المعادن الطرية بالحك والتلميع.

السطح البصري الناعم يمكن الحصول عليه بسهولة باستخدام الزجاج. مرآة القطع المكافئ المعمولة بالحك والتلميع للزجاج باستخدام الطرق البصرية والذي تم معالجته بالألومنيوم أو بالفضة بالتبخير بالتفريغ لعمل سطح مرآة أمامي، يوفر مركز ممتاز، وقوة الانعكاسية هي حوالي 90 % للإشعاع الشمسي تكون متوقعة. عادة يتم تغطية السطح المعالج بالألومنيوم بطبقة حماية من (SiO_2) ولكن التغطية بطبقة رقيقة من البلاستيك مؤثر كذلك.

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية
تصنيع قطع مرآة القطع المكافئ للمركز كبير الحجم يمكن تنفيذه أيضاً. من المهم
تقسيم المركز إلى عدد كبير من الأجزاء الصغيرة لخفض تأثير العيوب.

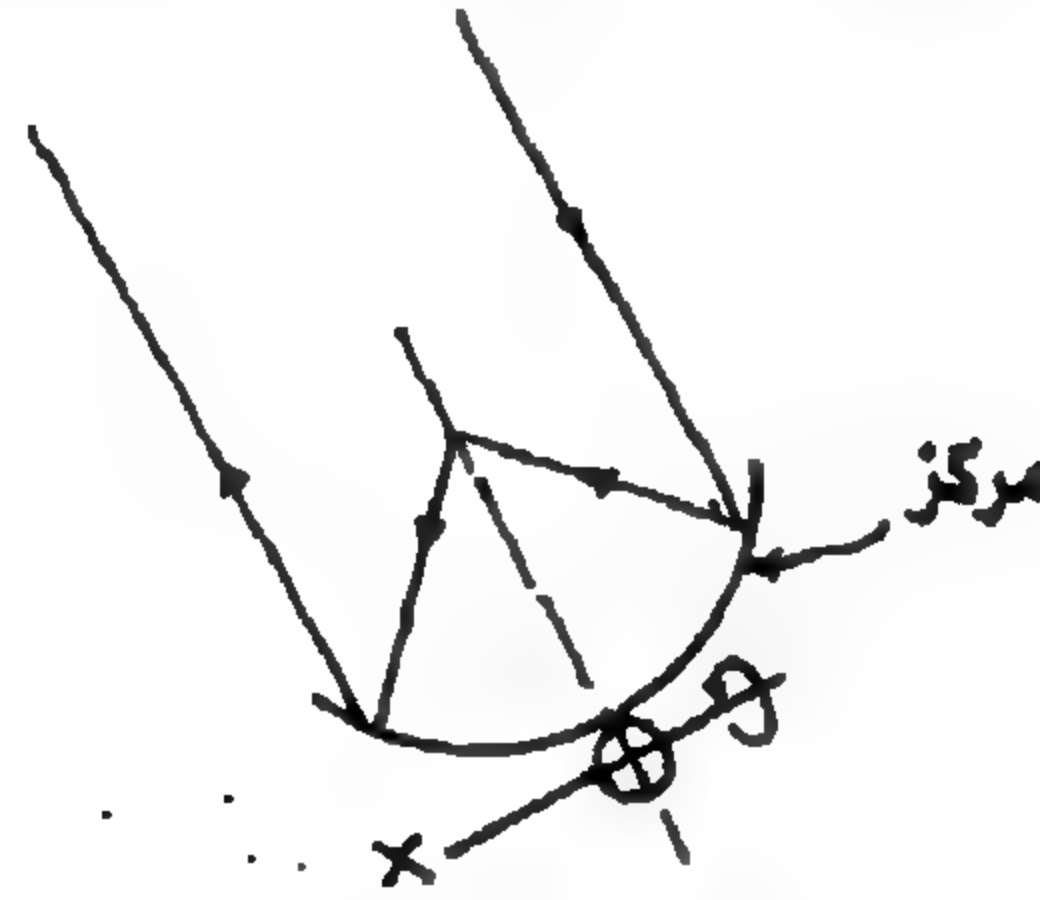
أنواع الأفران الشمسية :

يمكن تقسيم الأفران الشمسية إلى الأنواع الآتية:

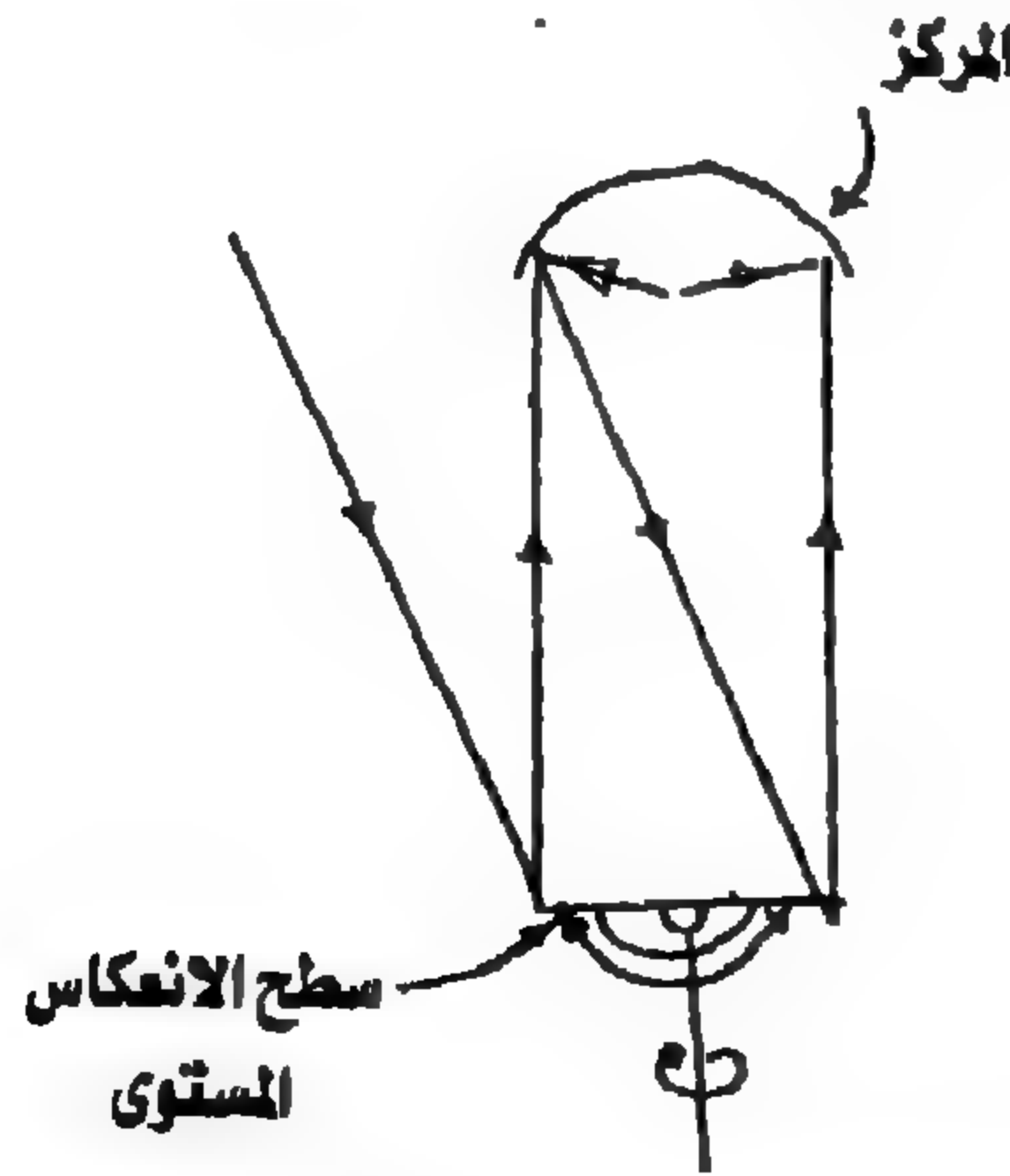
(1) نوع التركيز المباشر.

(2) نوع الهيليوستات (أداة عكس الشمس في اتجاه واحد)

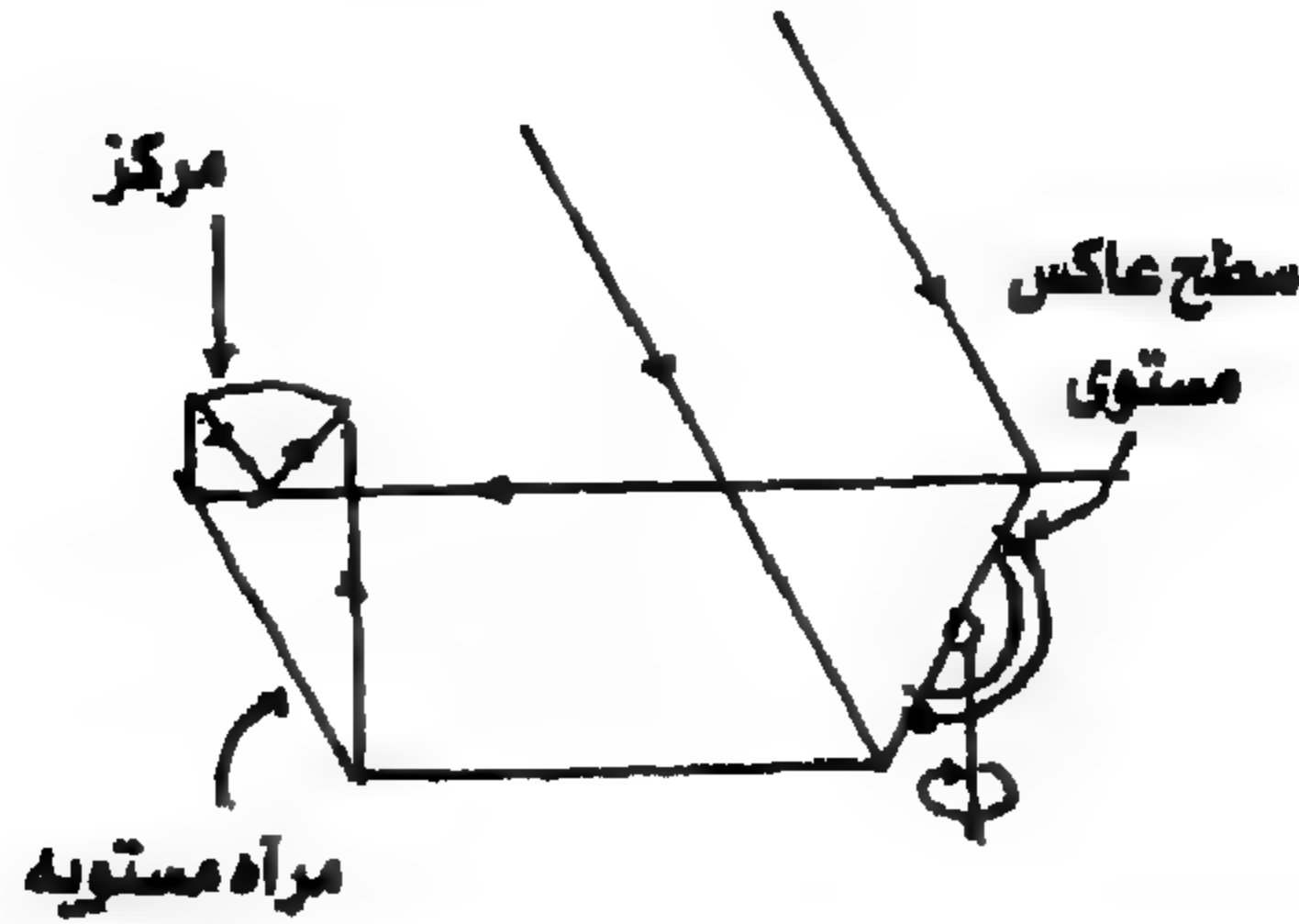
في نوع الفرن بالسقوط المباشر يكون المركز نفسه متوجهاً نحو الشمس كما هو
موضح في الشكل رقم (1)، بينما في نوع الهيليوستات يتم إرسال الإشعاع نحو مركز
ثابت بواسطة مرآة متحركة أو هليوستات كما هو موضح في الشكل (1,2,3,4/16).



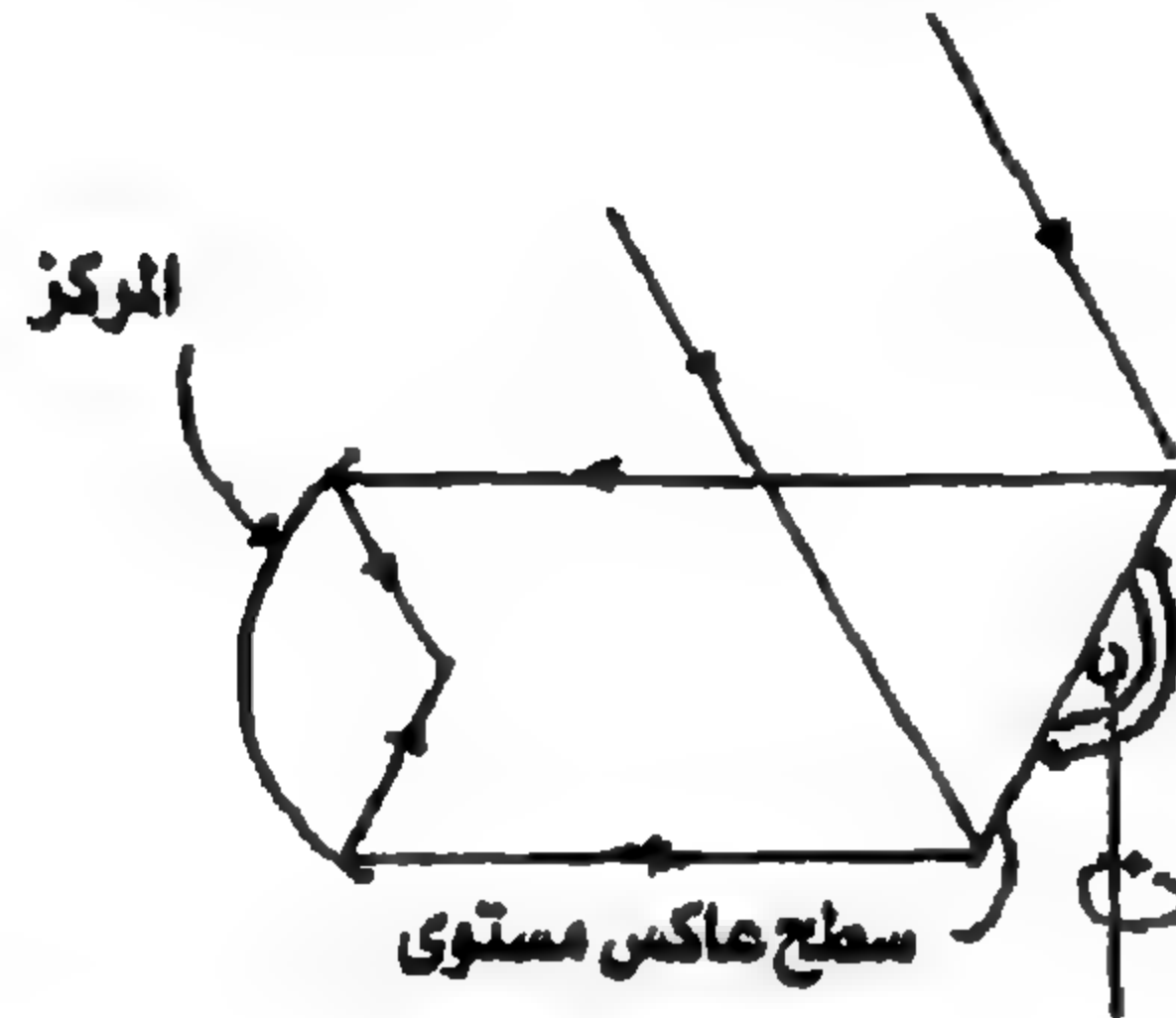
الشكل رقم (1/16) مخطط لفرن شمسي بالسقوط المباشر
المحور X يكون موازياً لمحور الأرض



الشكل رقم (2/16) مخطط لفرن شمسي من نوع التتبع الشمسي
(محور بصرى عمودى)



الشكل رقم (3/16) مخطط لفرن شمسي من نوع التتبع الشمس واستخدام المراة المستوية



الشكل رقم (4/16) مخطط لفرن شمسي من نوع التتبع بمحور أفقى بصرى

نوع السقوط المباشر (Direct incident) له ميزة أن فقد الانعكاس بالهيليوستات لا يتم إدخاله، ولكن توجد مخاطر في أن المادة المنصهرة يمكن أن تتدلق (Spill) خلال الإشعاع. الفرن من نوع هيليوستات بالمحور البصرى العمودى شكل (2) هو المناسب للانصهار، نظراً لأن الجزء الغير منصهر من المادة يكون بوتقة للإمساك بالجزء المنصهر. مع زيادة الفتحة، فإن موضع شعاع المركز يكون مرتفعاً جداً خاصة في خط العرض المنخفض، لذلك فإن هذا النظام يكون من الصعب استخدامه في الأفران الضخمة. كما هو موضح في الشكل (3) فإن مشكلة الارتفاع يمكن حلها بإضافة مراة مستوية أخرى. عيوب هذا النظام هي زيادة الفقد بالانعكاس. في الشكل (4) مبين الفرن من نوع الهيليوستات مع المحور البصرى الأفقى والذي هو مناسب إلى حد ما ويستخدم على نطاق واسع في الأفران الضخمة. أبعاد مراة الهيليوستات تكون تقريباً 1.4 القطر (1.4D). المراة المرغوبة كثيراً هي التي يتم الحصول عليها بحك وتلميع لوح الزجاج إلى حالة الاستواء البصرى، ثم المعالجة بالألومنيوم أو الفضة باستخدام التبخير

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية بالتفريغ، والتبريد بطبقة مناسبة. تغير الارتفاع وذلك للسمت (Azimuth) يمكن الحصول عليه بتدوير الإطار حول المحور الأفقى وحول المحور الرأسى على التوالى. بهدف تدوير الإطار، يستخدم التشغيل الكهربى أو الهيدرولى الذى يرتبط (Coupled) مع النظام الموازر (Servo system) أو نظام الوقت لتتبع الشمس. الطريقة الأخرى هى باستخدام العديد من الهيليومسات لإرسال الشعاع الشمسى نحو المركز.

طرق تتبع الشمس : (Sun Tracking methods)

تستخدم طرق التتبع الشمسى الآتية للأفران الشمسية:

(1) نظام الوقت.

(2) النظام الموازر (Servo)

(3) النظام اليدوى.

نظام الوقت لنوع الفرن بالسقوط المباشر يتم الحصول عليه بالركوبه الاستوائية (Equatorial Mounting) (حيث تبقى المقراب موجهة إلى الجرم الفلكى) للمركز، كما هو موضح فى الشكل (1) التغير النهارى اليومى للاتجاه يتم بواسطة تدوير المحور X بسرعة ثابتة الموازى ببساطة لمحور الأرض. التغير الموسمى يمكن ضبطه بتغيير الزاوية بين X والمحور البصرى للمركز، الذى يصبح مستطيل متعامد على فصول الربيع والخريف (Equinoxes).

النظام الموازر (Servo system) هى طريقة كهربية ضوئية (Photo Electric) التى تستخدم لإيجاد الحيود للإشعاع الساقط على المركز. وهو يعمل بنظام التشغيل للارتفاع والسمت (Elevation , azimuth) لعود الإشعاع موازياً للمحور البصرى. لكشف الإشعاع يمكن استخدام الأنبوب البصرى، حيث يثبت مع محور موازى لذلك لوحدة التركيز، حيث توجد فتحة صغيرة عند أحد النهايات حيث خلالها يدخل شعاع من الإشعاع الشمسى. هذا الإشعاع الشمسى يتم سقوطه على أربع أنابيب ضوئية كهربية (4 Photo tubes) عند النهاية الأخرى للأنبوب. عند حدوث عدم اتزان للفولت بين الأنبوبين لأعلى ولأسفل، فإنه يؤثر تغير الارتفاع وذلك بين أنبوبين يميناً ويساراً، تغير السمت. طريقة أخرى تستخدم أربعة ترانزستورات ضوئية (Four photo transistors) لكشف الحيود حول صورة الشمس.

توقيع وإسقاط صورة الشمس مناسب جداً للعمل اليدوى الضرورى لصهر المنطقة والتقنيات الرقيقة الأخرى فى الانصهار.

استخدامات الفرن الشمسى:

الأفران الشمسية لها استخدامات في المجالات الآتية:

1- الميتاليرجي :

أ- استخلاص المعادن والانصهار:

أن ندرة النوعية العالية ألجأت الحاجة نحو تطوير تلك الضعيفة في مجال الاستخلاص الميتاليرجي. الأفران الشمسية قد صارت مناسبة لتلك الأغراض بسبب سرعة التسخين وانخفاض العزم الحراري المصاحب لهم. في محاولة، تم استخلاص الموليبدنوم في شكل ثالث أكسيد الموليبدنوم من الخام المحتوي على 60% كبريتات الموليبديوم بعد المعالجة في الفرن الشمسي.

الأفران الشمسية عالية الكفاءة يمكن استخدامها لمعالجة كميات ضخمة من الخامات. لقد استخدم العالم الفرنسي (Trombe) الفرن الشمسي (1000Kw) في فرنسا لتصنيع العديد من أطنان البوكسيت، وخليط الألومينا والزركونا.

يوجد مجال متسع لاستخدام الفرن الشمسي في عمليات الانصهار (Smelting). نظام المستقبل المركزي الشمسي المزود بوحدة التركيز كان قد اقترح للاستفادة به في صهر النحاس، الرصاص، الزنك، النيكل مع الاستخدام التالي في تطبيقات صهر الصلب.

ب- عملية الصهر والسباكة (Melting and casting):

استخدام الأفراد الشمسية لصهر وسبك المعادن والسباكة هو إمكانية محتملة. العديد من مثل تلك المحاولات تم عملها في فرنسا. كذلك يمكن استخدام الفرن الشمسي لصهر المواد الحرارية.

ج- المعالجة الحرارية:

استخدام الأفران الشمسية ذات الحرارة العالية القادرة على التسخين حتى 1000°C أو أكثر، ذو قيمة في المعالجات الحرارية مثل تقسية الفرن للصلب والحديد.

د- التليد : Sintering

الأفران الشمسية مفيدة في عمليات التليد. كذلك، فإن تليد المركبات الفيريت الخصبة تم تحقيقه بنجاح. أنتج (Trombe) حراريات التليد في الأفران الشمسية.

2- التخليق الكيميائي والمعدني (Chemical and mineral synthesis)

الأفران الشمسية تمكن من الحصول على درجة حرارة عالية ولكن بدون تلوث، لذلك فإن هذه الأفران كانت مفضلة عن الأفران المستخدمة للوقود التقليدي في تجارب

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية
الصناعات الكيميائية والمعدنية. لقد تمت تجارب عديدة في هذا المجال وتم الحصول
بنجاح على عناصر ومركبات وسبائك ..الخ.

3- نمو البلورة: (Crystal growth)

لقد ساعدت الأفران الشمسية بدرجة كبيرة في تحضير العديد من البلورات
الأحادية (Mono crystals). تلك الأفران تسهل مثل هذا النوع في جو نظيف ومحكم.
العديد من أنواع البلورات الواحدة قد تم نموه في أفران الطرد المركزي الشمسية.

4- التفاعلات الكيميائية :

العديد من التفاعلات الكيميائية مثل التحلل الكيميائي (Decomposition) ، الأكسدة
العكسية، التسامي (Sublimation)، التبخير، الصهر..الخ يمكن بنجاح عملة بواسطة
الأفران الشمسية.

5- اختبار المواد : Material Testing

الأفران الشمسية لها علاقة هامة في دراسة سلوك المواد المعرضة للنبضات
الحرارية (Thermic Impulses) عند أي حالة عادية. تطوير المواد المناسبة القادرة
على تحمل درجات الحرارة المرتفعة جداً والصدمات الحرارية لها أهمية عسكرية
وعلمية كبيرة ولها استخدامات عاجلة في مجالات مختلفة مثل الاستخدام في المفاعلات
الذرية، الطائرات، الصواريخ الموجهة.

خواص مواد السيراميك عند درجات الحرارة المرتفعة يمكن تقييمها جيداً بواسطة
الفرن الشمسي.

الأفران الشمسية كانت مفيدة جداً في اختبار وتعيين مقاومة الطلاءات المعدنية
والطبقات المعدنية الرقيقة عند درجات الحرارة المرتفعة. مثل تلك الاختبارات تم أدائها
بكثافة باستخدام الأفران الشمسية ذات الطاقات المختلفة.

6- تقييم الخواص (Properties assessment)

الأفران الشمسية تفوقت على المقاومة العادية للتسخين بالحث ذلك لأن أي صلب
بصرف النظر عن خواصه الكهربائية أو المغناطيسية يمكن تسخينه بدون تلوث إلى
درجات حرارة مرتفعة جداً في الفرن الشمسي. لذلك فإنه يمكن استخدامه كأداة جديدة
يعتمد عليها لدراسة الخواص الطبيعية الحرارية عند درجات الحرارة العالية
(Thermophysical properties) مثل التمدد الحرارية، التوصيل الحراري والانتشار
(Diffusivity) وامتصاص الطاقة الحرارية، قياس الحرارة النوعية، الخواص الكهربائية
والميكانيكية عند درجات الحرارة العالية.

7- خواص أخرى:

بخلاف ما سبق، فإن خواص معينة أخرى يمكن تقييمها باستخدام الأفران الشمسية. تعيين نقط الانصهار بكثير من الأكاسيد التي لم يسبق تسخينها ودراسة خواص النويات (Nucleating) للمواد. تعيين نقط التجمد لأكاسيد (Anthranide) ونقط تجمد للعديد من الأكاسيد الحرارية من المحلول الصلب السداسي ($Y_2O_3-ZrO_2 - Ln_2O_3$). كذلك دراسة التركيب الفراغي لمركب ($SrZrO_3$) المستخدم كمادة عزل/توصيل.

8- دراسة نظام المخطط : (Phase diagram studies)

مخططات المجال ذات درجة الحرارة العالية لكثير من نظم الأكاسيد خاصة تلك المحتوية على الذركونيا، الألومينا، (Lanthanide)، تم عملها بواسطة الأفران الشمسية.

9- الحراري - الفوتوفولتي Thermo - Photovoltaics

في الحراري الفوتوفولتي يستخدم ضوء الشمس المركز من الأفران الشمسية لتسخين جيب جسم أسود "Black body" cavity الذي يعيد انبعاث إشعاع عند درجة حرارة أقل. الخلايا الشمسية المغمورة في الجيب يمكنها امتصاص الوحدات الضوئية (Photons) ذات درجة الطاقة العالية الموجودة وتحويل تلك إلى طاقة كهربائية عالية الكفاءة.

خواص الفرن الشمسي :

الفرن الشمسي هو جهاز فريد الذي له الصفات الآتية:

- 1- ينتج درجة حرارة مرتفعة جداً.
- 2- فيها التلوث بالتفاعل مع البوتقة لا يحدث عند الانصهار.
- 3- يوفر التسخين والتبريد السريع جداً.
- 4- قياسات مختلف الخواص ممكنة مع العينة المكشوفة.
- 5- التلوث بالأيونات لا يحدث في الانصهار والذي يمكن أن يحدث في حالة البلازما أو لهب الأكسي - هيدروجين.
- 6- يمكن توفير المناخ المطلوب المناسب للعينة.

سليبات الفرن الشمسي:

- 1- استخدامه محدود في الأيام المشمسة، ولمدة 4 ساعات فقط من 10 صباحاً حتى 2 بعد الظهر للوصول إلى درجات الحرارة العالية.

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

2- التكلفة العالية للفرن الشمسي مازالت العائق نحو استخدامها الصناعي على نطاق واسع في ظل الظروف الاقتصادية الحالية.

توجد استخدامات مستقبلية عديدة لإنتاج حامض النيتريك والأسمدة من الهواء، لإعطاء مثال لما هو متوقع. في نفس الوقت الجهد الكبير في أبحاث الفضاء قد عجل بدرجة كبيرة تطوير أجهزة المجمعات البورية الكبيرة ذات الوزن الخفيف لإنتاج درجات حرارة عالية في الفضاء الخارجي.

الضخ الشمسي : (Solar pumping)

مقدمة :

يتكون الضخ الشمسي من استخدام القوة الناتجة من الطاقة الشمسية لضخ المياه المستخدمة في الري.

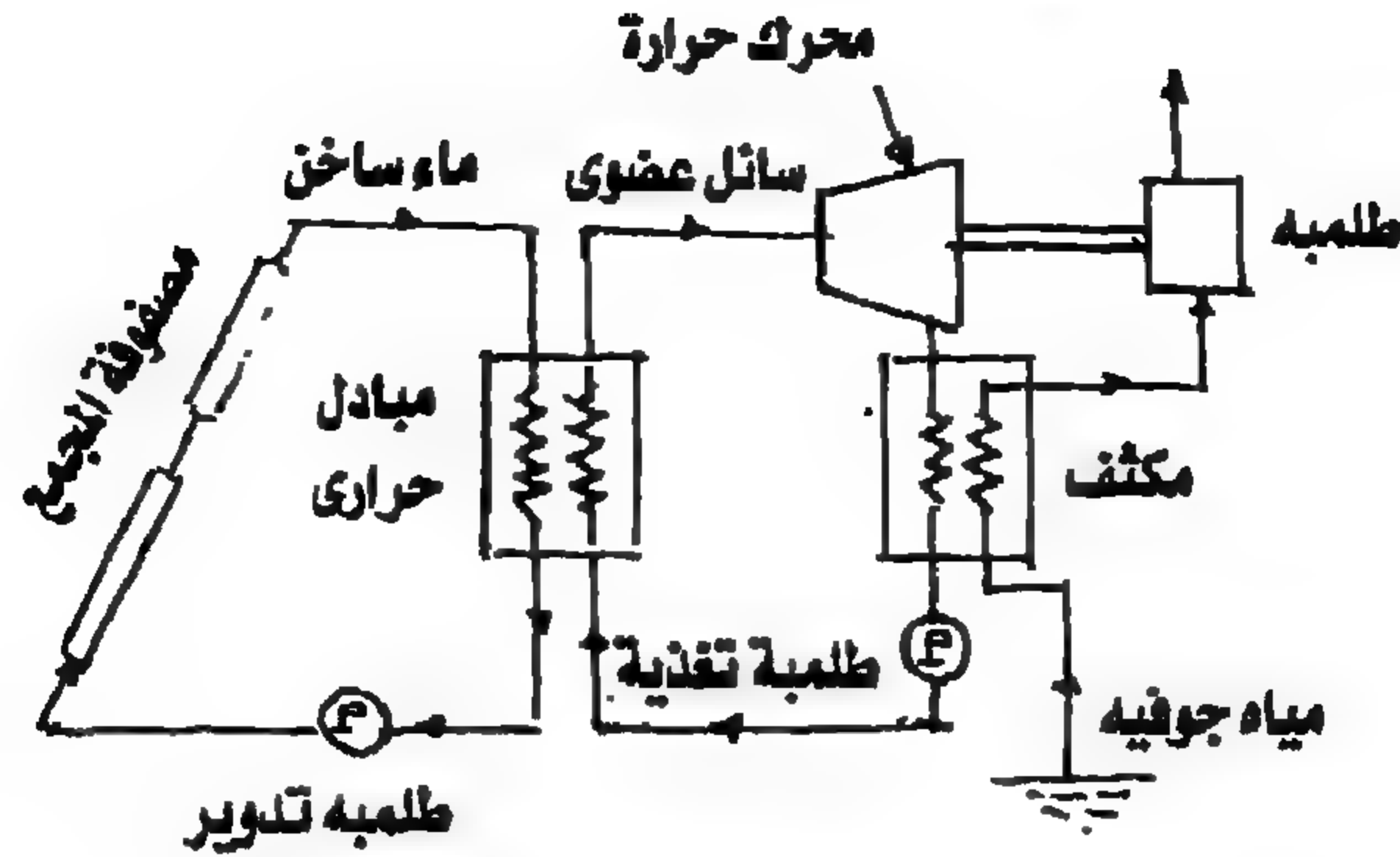
الطاقة الشمسية توفر عدد من الظواهر التي تجعل من استخدامها في الضخ للري من الأمور المقبولة. أولاً، الحاجة الكبيرة للضخ تحدث خلال شهور الصيف حيث يكون الإشعاع الشمسي عند أقصاه. ثانياً، الضخ يمكن أن يكون متقطعاً إلى حد ما. خلال فترات ضعف الإشعاع الشمسي وعند انخفاض الضخ، فإن الققد بالتبخير من المحاصيل يكون ضعيفاً كذلك. أخيراً، يمكن توفير تخزين الضخ الغير مكلف نسبياً في شكل برك.

يوجد عدد من الطلمبات التي أنشئت حديثاً للضخ للري والتي تعمل الآن. العقبة الرئيسية نحو زيادة استخدام نظام الري بالضخ هو التكلفة العالية نسبياً. ولكن مع زيادة أسعار زيت البترول يمكن أن يكون استخدامها اقتصادياً. محرك البخار الذي يعمل بالطاقة الشمسية استخدم عام 1875 لضخ المياه بواسطة الفرنسي (Mouchot). كما أنشأ ويليام آدمز مضخة شمسية في بومباي في عام 1876. أكبر محطة ضخ بالطاقة الشمسية عرفت كانت بواسطة (Shuman Boys) في عام 1913 في المعادي وهي أحد ضواحي مصر. حيث استخدم المجمعات من نوع القطع المكافئ مع خمسة من المركزات لضوء الشمس. استخدم خمسة من أحواض القطع المكافئ 4.06 متر اتساع عن القمة، 62.2 متر طول، حيث إجمالي مساحة المجمع كانت 1263 متر مربع. كانت الغلايات موضوعة على الخط البؤري - ماصات الحرارة كانت موضوعة بفواصل حوالي 7.6 متر لتجنب تبادل التظليل. المجمعات كانت موضوعة في توجيه شمال جنوب مع الدوران من الشرق إلى الغرب. كانت المرايا موضوعة في إطار من الصلب الخفيف. كان لمحطة طلمبات المعادي طاقة 37 كيلوات وكفاءة حرارية كلية 4.32 % فقط.

مكونات النظام :

النظام الأساسى يتكون من المكونات الآتية:

- 1- المجمعات الشمسية التى يمكن أن تكون:
 - أ- مجمعات اللوح المستوى.
 - ب- المركزات الثابتة.
 - ج- مركزات تتبع الشمس - الهيليوستات.
 - 2- نظام انتقال الحرارة.
 - 3- غلاية.
 - 4- الحرارة، المحرك، يمكن أن يكون
 - أ- محركات رانكين والتى يمكن أن تكون إما محركات ترددية أو بتربين البخار.
 - ب- محركات الغاز الساخن (Stirling)
 - ج- تربين الغاز بدورة برايتون.
 - د- محرك المكبس الدوار.
 - 5- المكثف
 - 6- الطلمبة والتى يمكن أن تكون
 - أ- طلمبة ترددية.
 - ب- طلمبة طرد مركزى.
 - ج- طلمبة.
 - د- طلمبة دوارة.
- الطلمبة الشمسية لا تختلف كثيراً عن محرك الحرارة الشمسية الذى يعمل فى دورة درجة الحرارة المنخفضة. مصدر الحرارة هو المجمع الشمسى، والانخفاض (Sink) هو الماء المطلوب ضخه. نموذج لنظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية موضح فى الشكل رقم (5/16).



شكل (5/16) مخطط للظلمة الشمسية

المكونات الأولية للنظام هي مصفوفة من المجمعات ذات السطح المستوي ومحرك (Rankine) مع مائع عضوي كمادة تشغيل. أثناء العمل مائع الانتقال الحراري (الماء المضغوط) يتدفق خلال مصفوفات المجمع. طبقاً لشكل المجمع، كثافة الشمس وظروف العمل للمحرك، فإن السائل يتم تسخينه في المجمع إلى درجة حرارة أعلا. المائع (الماء) يتدفق نحو مبادل حراري (الغلاية)، بسبب التدرج في درجة الحرارة، ثم يعود ثانياً إلى المجمع (Collector). هذا الماء ينتج حرارته في المائع الوسيط في الغلاية. هذا المائع يتبخر ويتمدد في المحرك قبل الوصول إلى المكثف، حيث يتكثف عند ضغط منخفض. المكثف يتم تبريده بالماء المطلوب ضخه. المائع عندئذ يتم إعادة حقنه في الغلاية لقلل الدورة. محرك التمدد لمحرك رانكين يتم توصيله (Coupled) مع الظلمة ويمكن بطبيعة الحال توصيله بمولد كهربائي.

مساحة المجمع تتحدد إلى حد كبير بواسطة الكفاءة الكلية للنظام. (η_o)

$$\eta_o = \eta_e \times \eta_c$$

حيث:

$$\eta_e = \text{كفاءة المحرك}$$

$$\eta_c = \text{كفاءة المجمعات}$$

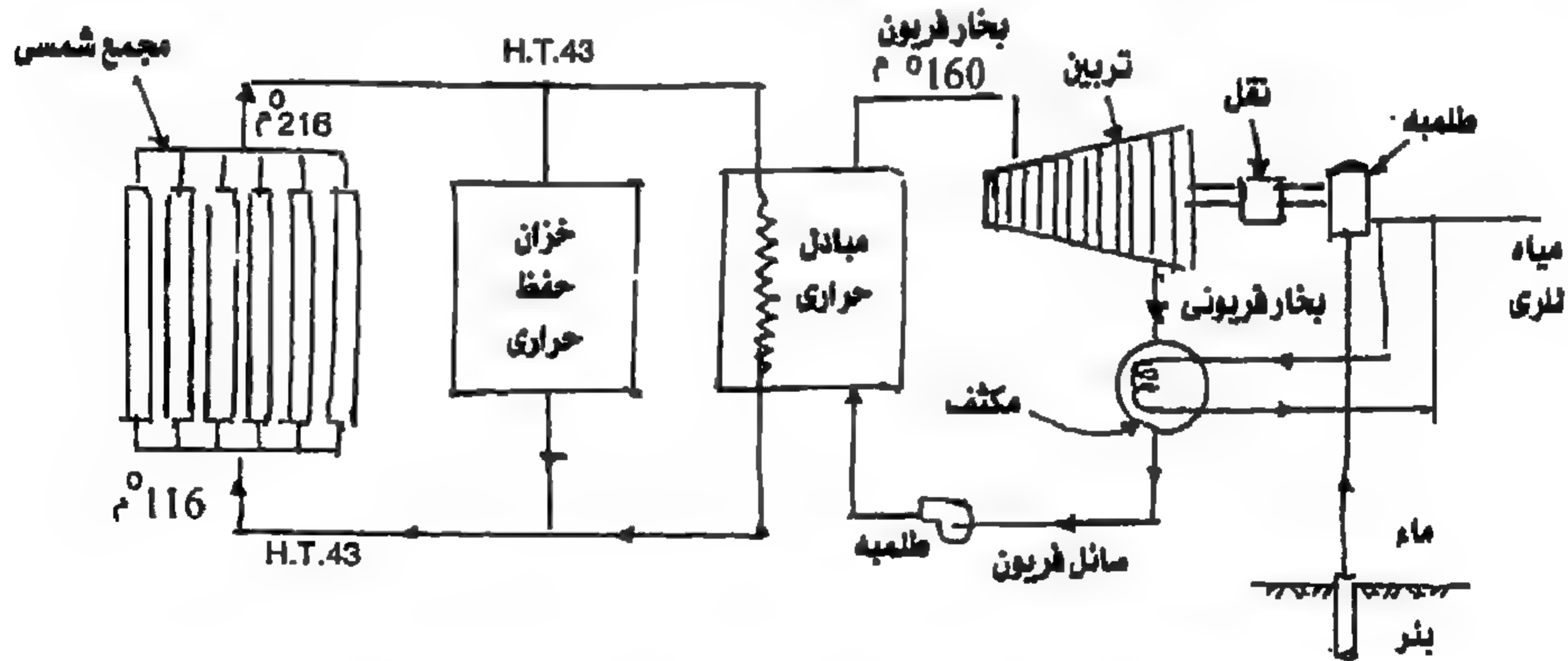
لدرجة حرارة أعلا في الغلاية، نتائج في زيادة كفاءة المحرك، ولكن درجة حرارة أعلا عند الغلاية تتطلب زيادة درجة حرارة المجمع، والتي تقلل كفاءة المجمع. لذلك يوجد، أقصى مجال لدرجات حرارة التشغيل لنظام الضخ الشمسي الذي ينتج عنه أقصى كفاءة للنظام.

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

الموائع المستخدمة في الدورة هي Monochlorobenzene, toluene (CP-25), Thiophene , Refregirant 113 , Refregirant-11 , pyridine , R-113 هو المفضل بسبب الكفاءة العالية للدورة، عدم السمية وقلة التكلفة.

الخطوط العامة المبسطة لنظام المضخة تعمل بالتربين باستخدام الطاقة الشمسية موضح في الشكل (6/16). في نظام معين، مائع الانتقال الحراري وهو (Exxan caloria (HT-43) يتم تسخينه إلى 216° في مجمعات حوض القطع المكافئ ذو الفتحة الكلية 624 متر مربع. جزء من المائع الساخن يتم تخزينه للاستخدام عند عدم سطوع الشمس. مائع تشغيل التربين (Freon type R-113) يترك الغلاية ويدخل التربين في شكل بخار عند درجة حرارة 160° م وضغط 15 جوى. بعد التمدد في التربين، يترك البخار عند 93° م، وضغط 0.7 جوى، ويتحرك ثانياً إلى السائل في المكثف ويعود إلى الغلاية.

طلبة الري تعمل عند طاقة 19 كيلوات (25 حصان) وتضخ الماء بمعدل 500 إلى 600 جالون في الدقيقة (32 إلى 38 لتر/ثانية) من عمق حوالى 30متر. كفاءة الطاقة (أي نسبة الطاقة الشمسية المجمعة التي تتحول إلى شغل مفيد هي 13 إلى 14%، هذه القيمة المنخفضة تكون إلى حد كبير نتيجة درجة الحرارة المنخفضة لمائع التشغيل الذي يدخل التربين. كفاءة (Rankine) ستكون خلال حدود مقبولة، إذا كانت درجة الحرارة ما بين 200 على 400° م يتم الحصول عليها باستخدام نظام مجمع بؤرى مناسب.



شكل (6/16) مخطط لطلبة تدار بالتربين باستخدام الطاقة الشمسية

بدائل التصميم : (Design Options)

أ- اختيار المجمع الشمسى: Choice of the solar collector

مجمعات اللوح المستوى رخيصة التكلفة، ولكنها من العيب الأساسى الذى هو أن كفاءة المجمع تنخفض سريعاً مع زيادة درجة الحرارة. كذلك طاقة الإشعاع الشمسى

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

(Insolation) لتلك المجمعات والتي تكون مائلة ولكن المستقرة تتغير طبقاً لساعة النهار. أقصى درجة حرارة لسائل التدوير للتصميم البسيط للمجمع هو من 60 إلى 80°م. حدود درجة الحرارة هذه بالنسبة لمحرك رانكين بسبب الانخفاض الشديد للنظام، كذلك فإن المائع ذو درجة الغليان المنخفضة يكون مطلوباً مثل الفريون، والذي يحتاج إلى مبادلات حرارية مكلفة ومحركات وتربينات غير تقليدية.

المجمعات الشمسية من نوع التركيز تتكون من أحواض القطع المكافئ، عدسات (Fresnel) أو الدوران بالقطع المكافئ. يتم تركيز الإشعاعات الشمسية على أنبوب المص المركب على البؤرة، ويتم الحصول على درجة حرارة ما بين 200 إلى 400°م. كفاءة (Rankine) التي يتم الحصول عليها تكون في خلال الحدود المقبولة.

المجمعات البؤرية (Focusing collectors) تتطلب أنبوب ماص موضع على الخط البؤري للمجمع. المتاح نوعين مختلفين، حلقة المائع (Fluid loop)، ذات التدوير المستمر لمائع التشغيل خلال الأنابيب الماص المزود بطلمبة، وماسورة السخونة (Heat pipe) المكونة من أنبوب معزول محكم الإغلاق المملوء بكمية صغيرة من المائع المناسب. أحد نهايات ماسورة السخونة تلتصق وحدة الغلاية وتسلم الحرارة الممتصة إلى مائع التشغيل، في الغلاية. لا تكون هناك حاجة لقوة خارجية للتدوير.

ب- اختيار محركات الحرارة (نظم الطاقة)

Choice of the heat engines (power systems):

عموماً محركات الحرارة تستخدم لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة ميكانيكية لتشغيل الطلمبات الشمسية. يمكن اختيار أنواع أساسية عديدة من نظم الطاقة، أو دورات التشغيل لتحويل الطاقة الحرارية من المجمعات الشمسية إلى طاقة عامود إدارة مفيدة. نظراً لأن مستويات درجة الحرارة المستخدمة عادة في نظم الطاقة الشمسية، كمثال 25 إلى 300°م فإن دورة رانكين عادة متفوقة على الدورات الأخرى بالنسبة لإجمالي كفاءة الدورة وأحجام المكونات. لذلك، فإنها الأكثر استخداماً في نظم الطاقة الشمسية. دورة (Brayton) تستخدم عادة عند إمكان الحصول على درجات حرارة أعلا. نظام الطاقة هذا يمكن أن يكون إما نظام مفتوح أو نظام مغلق. النظام المغلق يمكنه استخدام موائع تشغيل بخلاف الهواء عند الحاجة. التربين المزدوج (Dual Turbine) يمكن كذلك استخدامه لتحسين الكفاءة الكلية للدورة، حيث التربين الأول يقوم بتشغيل الضاغط، والثاني (منفصل) لتوفير خرج الطاقة لعامود الإدارة. دورة (Stirling) يمكنها الحصول على كفاءة دورة كلية عالية، ولكن أصبحت محدودة لخرج صغير في التطبيقات الشمسية. مساحات المبادل الحراري الكبيرة نسبياً تكون مطلوبة، مع درجات حرارة وضغط مرتفع للغاز.

ج- نظام التخزين:

عندما يكون معدل السحب من آبار الري محدوداً، أو عندما يكون فترة الضخ اليومي يجب أن تزيد عن 6 - 10 ساعة عن نظم الضخ الشمسي، فإنه يلزم التخزين. تخزين المياه يتم تنفيذه بسهولة. وهو يشمل ضخ المياه الزائدة خلال اليوم للتخزين في خزان علوي أو حوض مرتفع ثم الصرف بعد ذلك في الحقل بالتدفق بالجاذبية. مثل هذه النظم يمكن تصميمها لفترة صغيرة (1-3 يوم) أو لفترة طويلة (تخزين موسمي).

الخزانات تكون مفضلة عموماً في حالة التخزين لفترة قصيرة حيث البرك يكون إنشاءها غير اقتصادي بالإضافة إلى فقد المياه بالتسرب والبخر. البرك تكون مناسبة في حالة تخزين مياه الضخ لمدة طويلة بسبب الحجم الكبير المطلوب. عند استخدام البرك يمكن خفض التسرب الأرضي بدمج سطح القاع وتغطيته بطفلة البنتونايت، البولي إيثيلين أو المطاط. يمكن خفض البخر من البرك بغطاء أسود من مادة مقاومة للحرارة على سطح البرك.

نظام تخزين الطاقة يستخدم عندما يكون معدل سحب المياه للري من الآبار محدوداً. النظم المستخدمة للمجمعات الفوتوفولتية هي تلك المستخدمة في المولد الكهربى/المحرك الكهربى للتشغيل بين وحدة الطاقة الشمسية وتشغيل الطلمبة حيث يمكن استخدام البطاريات للتخزين. ولكن، نظم كفاءة تخزين البطارية منخفضة نسبياً. حوالى 40% من الطاقة المنتجة بنظام الطاقة الشمسية يمكن أن يفقد عند المولد، البطارية، والمحرك الكهربى.

طرق أخرى لإمتداد العمل اليومي لنظام الطاقة هو بعض تخزين الطاقة الحرارية ما بين المجمع ووحدات الطاقة. يمكن تخزين الطاقة الحرارية كحرارة محسوسة، وحرارة كامنة مع مادة تغير المجال، أو كمجموع لكلا الاثنين.

التقطير الشمسى : Solar Distillation

تقطير الماء المالح لإنتاج مياه الشرب يتم بتعريض طبقة صغيرة من الماء المالح (عادة في صوانى ضحلة سوداء أو أحواض) للإشعاع الشمسى، وتكثيف بخار الماء الناتج على غطاء شفاف بالطريقة التى تمكن من جمعه في أحواض الاستقبال.

المقطرات الشمسية المستخدمة حالياً تشمل حوالى 20 من نوع - الحوض ذو ساعات تتراوح ما بين 400 إلى 25000 لتر فى اليوم وعدد غير معلوم من الوحدات الأصغر.

نظرية ووصف للمقطر الشمسى من نوع - الحوض:

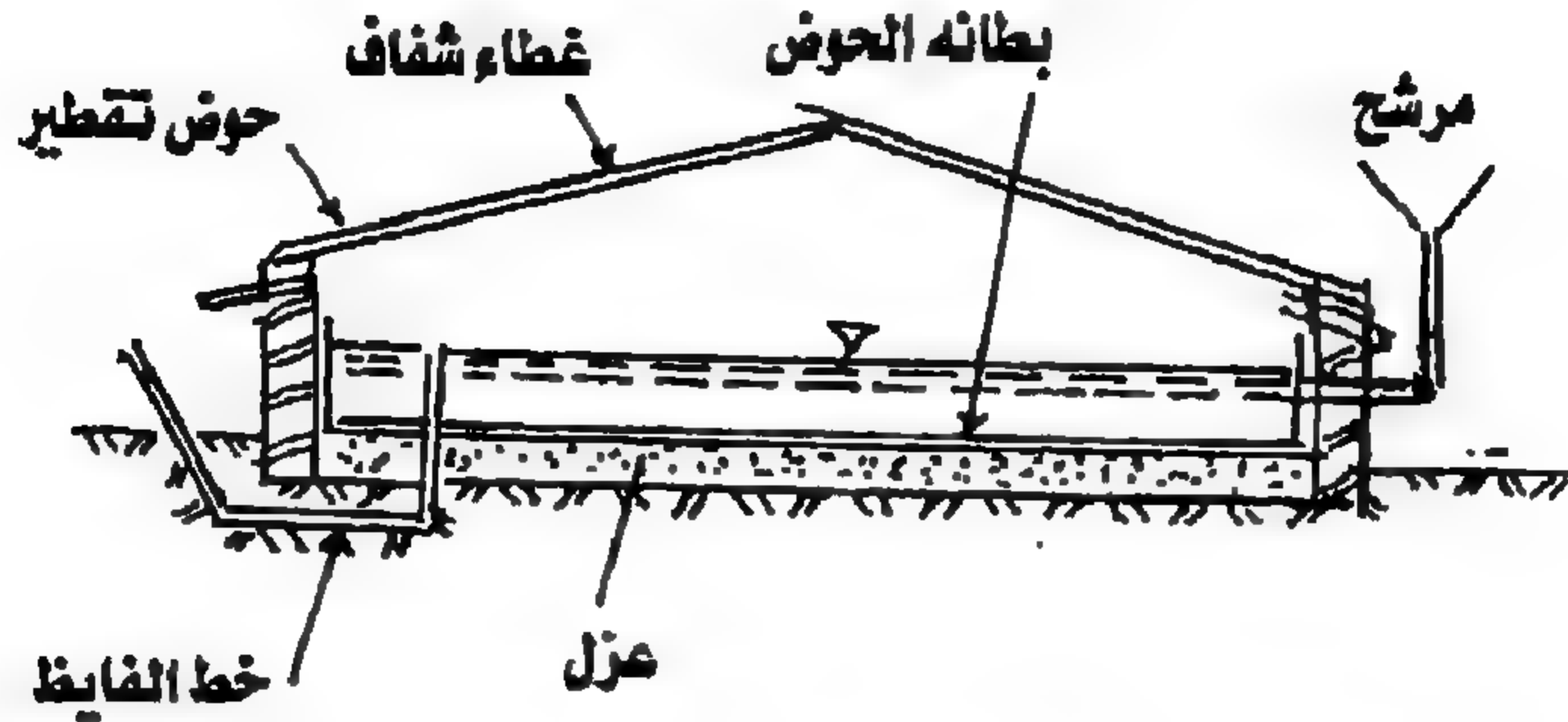
تم اقتراح أسلوبين أساسيين لاستخدام الطاقة الشمسية لتقطير الماء المالح. أحد الطرق على نطاق صغير يستعيد الماء النقى من الدورة الهيدرولوجية والأخرى تستخدم الطاقة لتنشيط المقطرات القادرة على العمل على أنواع أخرى من الطاقة. الدورة الهيدرولوجية التى يتم منها إنتاج الماء النقى، تكون بطاقة كبيرة، ولها أربع مجالات أساسية.

- 1- إنتاج البخار من المحيطات، البحيرات والمسطحات المائية الكبيرة الأخرى.
- 2- انتقال هذا البخار فى شكل رطوبة للهواء فوق الأرض إلى مناطق أبرد بواسطة رياح الحمل الحرارى.
- 3- تكثيف هذا البخار وترسيبه فى شكل مطر وبرد.
- 4- عودة الماء والثلج المنصهر بواسطة الأنهار إلى المحيطات، البحيرات والمسطحات المائية الكبيرة الأخرى.

بالنسبة للدورة الهيدرولوجية هذه، فإن الطاقة الشمسية هى الطاقة المحركة. فهى تخرق سطح الماء، تجعله ساخناً وتسبب تبخيره. وهى كذلك تنتج الرياح التى تنقل البخار إلى المناطق الأكثر برودة حيث يتكثف البخار كسائل. وإعادة الإنتاج على مستوى صغير جداً، المجالات الثلاث الأولى للدورة الهيدرولوجية تنتج ماء نقى. أبسط مقطر شمسى، المعروف عموماً.. بالمقطر من نوع الحوض "مبين فى الشكل رقم (7/16). وهو يتكون من حوض أسود محتويًا على مياه مالحة عند عمق ضحل، فوقها غطاء شفاف محكم ضد تسرب الهواء الذى يحتوى تماماً الفراغ فوق الحوض. الغطاء الذى عادة يكون من الزجاج، قد يكون من البلاستيك، يميل نحو حوض التجميع. الطاقة الشمسية بعد المرور خلال الغطاء الشفاف، يتم امتصاصها بالماء وبطانة الحوض وبذا يسبب تسخين للماء مسبباً التبخير. مادة الغطاء الشفاف تكون أبرد من سطح الماء نظراً لأنها لا تمتص الإشعاع الشمسى. هذا الفرق فى درجة الحرارة ينتج تيارات حمل حرارى فى الهواء الذى يحتجز داخل هذا الحاجز. تلك التيارات تسبب التصاق الهواء الرطب مع الغطاء البارد نسبياً بما ينتج عنه تكثيف لبعض الرطوبة على سطح الغطاء. هذه المكثفات تنزلق إلى أسفل الميل، وتتدفق على طول الحوض وتتصرف خلال ماسورة الصرف. الماء المالح يمكن استبداله فى العملية إما باستمرار العمل أو بطريقة مرحلية (Batches). رغم وجود العديد من أشكال وحدات الأحواض فإن نظريتها الأساسية متشابهة. المقطر الشمسى من نوع الحوض قد أنتج مياه مقطرة بتكلفة لوحدة الإنتاج أقل من أى نوع من المعدة الشمسية وهو النوع الوحيد فى الاستخدام. كفاءة

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

العمل من 35 إلى 50% للمقطر من نوع الحوض، مقارنة بالنظري الذي يزيد عن 60%. تلك الوحدات العملية تصمم لتجميع الإشعاع الشمسي، يستخدم مرة واحدة، ثم التخلص منه في شكل حرارة نحو الجو بحيث أن الطاقة الشمسية المتجمعة لعدة مرات للحرارة الكامنة للماء المنتج تكون مطلوبة.



شكل (7/16) مخطط لمقطر شمسي من نوع الحوض

تقدير الأداء للمقطر الشمسي من نوع الحوض:

أداء المقطر الشمسي يقدر عموماً بكمية المياه المنتجة بكل وحدة من مساحة الحوض في اليوم. أي أمتار مكعبة أو لترات من الماء لكل متر مربع من مساحة الحوض في اليوم. هذه الكمية سوف تتغير مع تصميم المقطر، وكثافة الإشعاع الشمسي والظروف الجوية في المجال المحيط. معدل الإنتاج يتوقف أساساً على كمية الإشعاع الشمسي المتاح ولكن يتأثر بالعديد من العوامل الأخرى. الشكل رقم (8/16) هو مقطع الذي يبين العديد من كثافات الحرارة والطاقة واتجاهاتها. يرى أن الإشعاع الشمسي القادم يتم امتصاصه جزئياً بواسطة الغطاء الشفاف، الماء وبطانة الحوض، مع جزء صغير منها ينعكس ثانياً إلى الفراغ بواسطة الزجاج ووسطح الماء. الجزء من الطاقة الممتصة في الحوض الذي يحتمل أن ينتج البخار وبالتالي الماء المقطر، يتوقف على التغير في درجة حرارة ماء الحوض والفقد الحراري من حوض الماء. أخيراً كمية البخار المكثف، وبالتالي كمية المقطر المنتج، تتأثر بانتقال المادة والحرارة إلى الغطاء الشفاف على الداخل ومعدل انتشار الحرارة من الغطاء نحو المجال الخارجي.

حرارة العمليات الصناعية (الاستخدام الصناعي للطاقة الشمسية)

مقدمة :

تسخين الماء الشمسي وتسخين الهواء معروفين الآن. مع كل التقنيات الحديثة والمطورة في نظم حرارة الطاقة الشمسية.

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

الطاقة الشمسية للاستخدام الحرارى فى الصناعة أثبتت اقتصاديتها لدرجة حرارة أقل من 100°C . ومع التطوير للمركبات الثابتة والمتتعبة فإن درجة حرارة حتى 300°C ستكون ذات جدوى. فى المجال الحالى للطاقة، يكون المطلوب توفير طاقة حرارية أقل من 300°C من الشمس. هذا إجبارى نظراً لأن الوقود من النوعية الجيدة من الزيت والفحم ذو درجة حرارة لهب مرتفعة عند استخدامه فى التطبيقات ذات درجة الحرارة المنخفضة ينتج عن ذلك الانخفاض الشديد فى الكفاءة. لذلك، فإن اختيار الطاقة الشمسية للاستخدام الحرارى المباشر حتى 300°C فى الصناعات واضح تماماً. الوقود ذو النوعية العالية مثل (الفحم، الزيت.. الخ) يمكن توجيهه للمهام ذات درجات الحرارة الأعلى.

ميزة استخدام الطاقة الشمسية هى أنها مصدر للطاقة غير ملوث وهى غير مرتبطة بقيود الإمداد الخارجى.

يوجد العديد من العوامل التى يلزم اختبارها لحسن استخدام الطاقة الشمسية للتسخين الصناعى. أولاً الإشعاع الشمسى هو مصدر مخفف للطاقة ذو ذروة كثافة حوالى كيلوات/المتر المربع. على الجانب الآخر، فإن استخدام كثافة الطاقة تكون مرتفعة فى الصناعى الذى يعنى أن مساحات كبيرة مطلوبة لجمع الطاقة الشمسية. عدم إتاحة المساحات الكبيرة لإنشاء المجمعات الشمسية يمكن أن يكون مشكلة للصناعات المقامة فى المناطق كثيفة السكان. ثانياً، يوجد العديد من التغير فى الإشعاع الشمسى، سواء يومياً أو موسمياً، والذى يحتم تخزين الطاقة الشمسية و/أو نظام ارتجاع باستخدام مصادر الطاقة التقليدية. الحاجة إلى مساحات كبيرة للمجمعات والحاجة إلى التخزين هما السبب فى التكلفة الأولية العالية للنظم الشمسية. ثالثاً، تعقيدات وتكلفة نظام الحرارة الشمسية يزداد مع درجات الحرارة التى عندها يلزم الحصول على الطاقة الحرارية. لذلك، فإنه يكون من المهم معرفة درجات الحرارة المطلوبة فى العملية الصناعية وكمية الحرارة المطلوبة عند درجات الحرارة المختلفة.

التطبيقات الصناعية وإمكانياتها:

الاستخدام الحرارى فى الصناعة موضح فى الجدول التالى/ للحصول على فكرة عن الطيف المتسع للعمليات، إمداد الطاقة الذى يمكن استبداله جزئياً بالطاقة الشمسية. الاختيار الممكن للمجمعات الشمسية موضح كذلك. يوجد نطاق واختبار نهائى لما هو مناسب.

المميزات العديدة للاستخدامات الصناعية على الاستخدامات السكنية والتجارية

هى:

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

- 1- الأحمال الصناعية هي غالباً مستمرة خلال العام.
 - 2- الوحدات الصناعية لها طاقم صيانة، أو في المصانع الصغيرة يوجد العمال الماهرة الذين يمكنهم تشغيل النظم الشمسية بهدوء.
 - 3- إجمالي الكمية من الطاقة المستبدلة بواسطة الطاقة الشمسية تكون كثيرة جداً مسببة زيادة الخفض في استخدامات البترول وعدم استخدام الفحم الملائم لدرجات الحرارة العالية.
- ولكن توجد بعض المحددات:
- 1- وفرة الشمس بطريقة متقطعة.
 - 2- المساحة للحظية: في كل حالات مساحات السقف قد تكون غير ملائمة لاحتواء مساحة المجمع المطلوبة. قد تستخدم أراضي مكلفة إضافية. في بعض الحالات يكون السقف له ميل من الشرق إلى الغرب، بدلاً من نوع الشمال الساطع، بما يجعل وضع المجمع مكلف وغير مقبول.
 - 3- المخلفات الصناعية (Effluents) يمكن أن تكون ضارة للأغطية الشفافة والأسطح الانعكاس

الصناعة والعمليّة	شكل الطاقة	درجة الحرارة °م	اختبار المجمعات
1- الألومنيوم: عملية باير (Bayer process) Digestion	بخار	215	أحواض طولية بالقطع المكافئ (LPT)
2- السيارات التصنيع تسخين المحاليل تسخين البوية حمام الهواء التجفيف	بخار هواء هواء	85-50 30 - 20 200-160	SP/SAH/FPC SAH FCS/LPT
3- كتل وطوب الخرسانة منتج الشك	هواء	180-75	FCS/LPT
4- الجبس التحميص الشك للبلاستيك	هواء بخار	160 300	FCS/LPT LPT

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

<p>5- كيماوى</p> <p>إذابة البوراكس</p> <p>تجفيف البوراكس</p> <p>تقطر الماء المالح</p> <p>تجفيف حامض الفوسفوريك</p> <p>غسيل KCL (Leaching)</p> <p>تجفيف KCL</p> <p>تنقية معدن الصوديوم</p>	<p>بخار</p> <p>هواء</p> <p>بخار</p> <p>هواء</p> <p>بخار</p> <p>هواء</p> <p>بخار</p>	<p>100 - 85</p> <p>75 - 60</p> <p>100°م</p> <p>120°م</p> <p>95°م</p> <p>120°م</p> <p>135°م</p>	<p>FPC/FCS</p> <p>SP/FPC</p> <p>FCS</p> <p>FCS/LPT</p> <p>FPS/FCS</p> <p>FCS</p> <p>FCS/LPT</p>
<p>6- الطعام</p> <p>الغسيل</p> <p>التركيز</p> <p>الطهى</p> <p>التجفيف</p>	<p>ماء</p> <p>بخار</p> <p>بخار</p> <p>بخار</p>	<p>70-50</p> <p>95 - 38</p> <p>190 - 120</p> <p>230 - 120</p>	<p>SP/SAH/FPC</p> <p>SP/SAH/FPC</p> <p>FCS/LPT</p> <p>FCS/LPT</p>
<p>7- الزجاج</p> <p>الغسيل والشطف</p> <p>الصحائف (LAMINATED)</p> <p>تجفيف الشعيرات الزجاجية</p> <p>التلوين</p>	<p>ماء</p> <p>هواء</p> <p>هواء</p> <p>هواء</p>	<p>95 - 65</p> <p>175 - 100</p> <p>140 - 135</p> <p>95 - 20</p>	<p>SP/SAH/FPC</p> <p>FCS/LPT</p> <p>FCS/LPT</p> <p>SP/SAH/FPC</p> <p>FCS</p>
<p>8- ألواح الخشب المنشور</p> <p>(Lumber)</p> <p>تجفيف الفرن</p> <p>تحضير الغراء</p> <p>الضغط على الساخن</p> <p>إعداد قطعة الخشب (جذع الشجرة)</p>	<p>هواء</p> <p>بخار</p> <p>بخار</p> <p>ماء</p>	<p>100 - 65</p> <p>175 - 100</p> <p>200</p> <p>85</p>	<p>SP/SAH/FPC</p> <p>FCS/LPT</p> <p>FCS/LPT</p> <p>FPC</p>
<p>9- التعدين :</p> <p>استخلاص الكبريت الطازج</p>	<p>ماء</p>	<p>170 - 160</p>	<p>FCS/LPT</p>
<p>10- الورق/لب الورق/ الكرافت/إعداد اللب</p>	<p>بخار</p>	<p>190-180</p>	<p>FCS/LPT</p>
<p>11- البلاستيك</p> <p>بدء العمل Initiation</p> <p>تقطير البخار</p> <p>الفصل الومضى</p>	<p>بخار</p> <p>بخار</p> <p>بخار</p>	<p>145 - 120</p> <p>145</p> <p>215</p>	<p>FCS/LPT</p> <p>FCS/LPT</p> <p>LPT</p>

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

FCS/LPT	190	بخار	البثق
FCS/LPT	190	بخار	التجفيف
FCS/LPT	188	بخار	الخلط
			12- المطاط المخلوق
FCS	120	بخار	بدء العمل
FCS	120	بخار	استعادة المونومر
FCS	120	بخار	التجفيف
			13- الصلب
SP/SAH/FPC	105 - 65	بخار	المعالجة بالحامض (Picking)
FPC/FCS	95 - 80	بخار	التنظيف
			14- المنسوجات:
SP/SAH/FPC	80 - 70	ماء	الغسيل
SP/SAH/FPC	110 - 60	بخار	التحضير
SP/SAH	110 - 50	بخار	المرسرة
SP/SAH/FPC/FCS/LPT	135 - 60	بخار	التجفيف
FPS/FCS/LPT	150 - 60	بخار	التشطيب

solar pond = SP (البركة الشمسية)

Solar air heater. = SAH (سخان الهواء الشمسي)

(liquid) flat plate collector = FPC مجمع السطح المستوي

Fixed concentration surface / CPS = FCS

Compound parabolic concentrator

سطح المركز الثابت/ المركز المركب بالقطع المكافئ

Linear parabolic trough = LPT (الحوض المستقيم بالقطع المكافئ)

الإمكانات : The Potential

في عدم وجود دراسة مستفيضة لتقدير كميات الطاقة الحرارية المستخدمة في الصناعة عند مستويات درجة حرارة مختلفة، فإنه يكون من الصعب تقدير إمكانات استخدام الطاقة الشمسية للعمليات الصناعية. من الجدول السابق يتضح أن معظم الطاقة المطلوبة للصناعات هي أقل من 175°م.

صناعة الألبان : (Dairy processing)

الخطوة الأولى في صناعة الألبان هي البسترة (أي التعقيم) والتي تتم عند 80°م، ولكن بسبب الطبيعة الاسترجاعية للعملية، فإن صافي استهلاك الطاقة الحرارية يصل

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

إلى 25% من إجمالي الطاقة اللازمة للعملية. الطاقة الحرارية يتم استهلاكها غالباً في غسيل الزجاجات والعلب، وكلا العمليتين تلك تستهلك حوالي 75% من الطاقة المطلوبة. درجة الحرارة المطلوبة لهذه الاستخدامات تتغير من 65 إلى 90°م وتلك يمكن توفيرها حالياً باستخدام مجمعات اللوح المستوى.

صناعة المنسوجات:

صناعة المنسوجات هي واحدة من أكبر الصناعات المستهلكة للطاقة. الماء الساخن حتى 90°م يمكن استخدامه في التطبيقات الآتية خلال صناعة المنسوجات وهي تغذية الغلاية، الغسيل، التبييض، المرسرة، الصباغة، التجهيز، التجفيف..الخ.

الحاصلات الزراعية :

التجفيف هو خطوة هامة في صناعة الحاصلات، ولكن الطرق التجارية للتجفيف باستخدام البخار أو الهواء الساخن معرضة للتجفيف للشمس المباشر والذي رغم أنها الطريقة الرخيصة المتاحة للمزارعين إلا أنها غير مؤثرة مسببة التلف للمحصول. استخدام الطاقة الشمسية للتجفيف اقتصادي ومطلوب. وسيتم وصف استخدام الطاقة في المجال الشمسي.

تصنيع الأرز:

طبقاً للدراسات، فإن كمية البخار اللازمة لتسخين الماء (العملية النقع) والتبخير (Steaming) هي حوالي 200 كجرام عند ضغط 4 جوى لكل طن من تصنيع الأرز الخام.

تصنيع الحاصلات من الحبوب بالتجفيف يحتاج إلى هواء ساخن عند درجة حرارة أقل من 70°م.

تصنيع الغذاء :

استهلاك المواد الغذائية المصنعة مثل المعلبات من الفاكهة والخضروات زاد كثيراً، المعلبات من المياه الغازية، العصائر تصل إلى 75% من إجمالي الإنتاج، بينما الفاكهة المعلبة والخضروات والطماطم ..الخ تكون الباقي 25%. نظراً لأن صناعة المواد الغذائية تغطي مجال كبير من المنتجات، فإنه يستخدم العديد من العمليات في تصنيع مختلف المنتجات. تصنيع الفاكهة يتضمن استخدام كبير للطاقة الكهربائية وكذلك الطاقة الحرارية. تستخدم الطاقة الحرارية في شكل بخار وماء ساخن. درجة حرارة الماء الساخن تتراوح ما بين 70 - 100°م. استخدام الهواء الساخن في المجال ما بين 60 - 120°م.

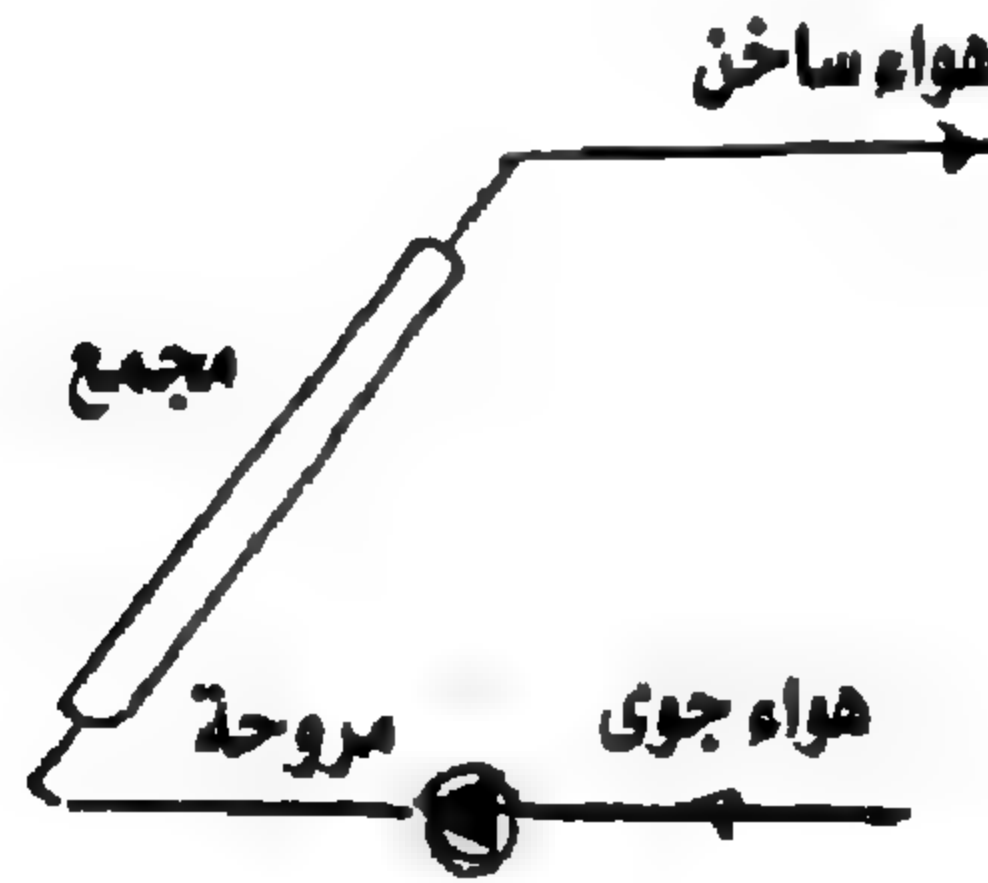
- صناعة الورق ولب الورق.
- صناعة الحرير .
- صناعة الأخشاب.
- فى الاستخدامات الفندقية.
- فى التبريد بالتبريد بالامتصاص وهى طريقة واحدة فى مجال التخزين البارد وحفظ المواد الغذائية.

أنواع عمليات الحرارة الصناعية:

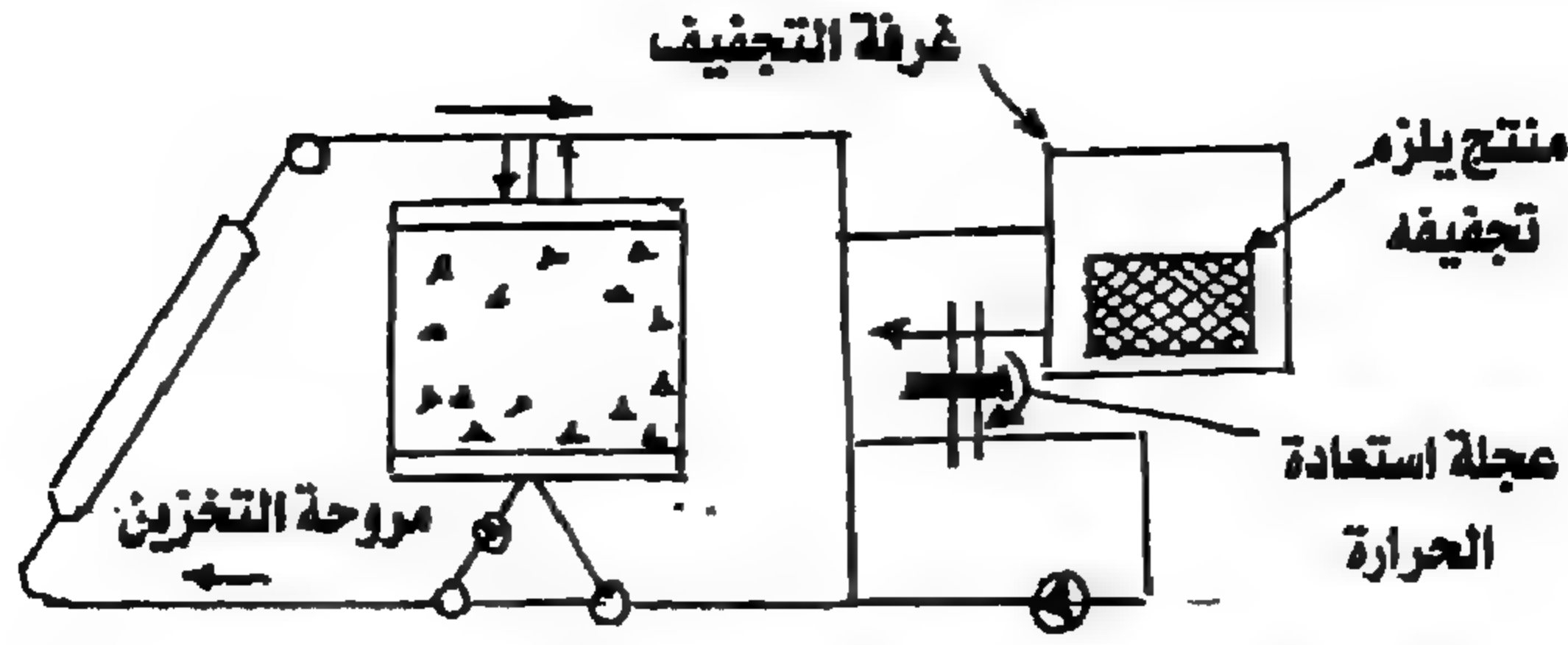
من الواضح من الجدول السابق أن العمليات الصناعية هى أساسا من ثلاث أنواع وهى الهواء الساخن، الماء الساخن، بخار العمليات. الآتى هى الأشكال الأساسية لمثل تلك النظم الشمسية.

1- نظم الهواء الساخن :

هذه يمكن أن تكون مباشرة أو بالتخزين فى حوض من الصخر، كما هو موضح فى الشكل رقم (8)، رقم (9) على التوالى. النظام المباشر (أو المرور البسيط) أرخص وأسهل فى التشغيل والصيانة. وهو مفضل للعمل على مراحل ووقت النهار بما يبعد استخدام التخزين. وهو يستخدم كذلك حيث خرج الهواء له رطوبة عالية التى لا يمكن إعادة تدويرها. ولكن، إذا كان خرج الهواء مرتفعاً بما يمكن من استعادة الحرارة، فإن تأثير التكلفة يلزم أن يؤخذ فى الاعتبار. عجلة استعادة الحرارة هى عنصر منخفض التكلفة ولكنه يحسن من الاقتصاديات للنظام. تخزين الصخر رخيص نسبياً ويمكنه الحصول على التراص فى طبقات (Stratification) - التخزين الحرارى يمكن أن يكون للماء كذلك نظراً لأن الطاقة الداخلية (Parasitic) يمكن خفضها. الاختبار يتوقف على الاستخدام.



شكل رقم (8/16) نظام الهواء الساخن بالممر الواحد



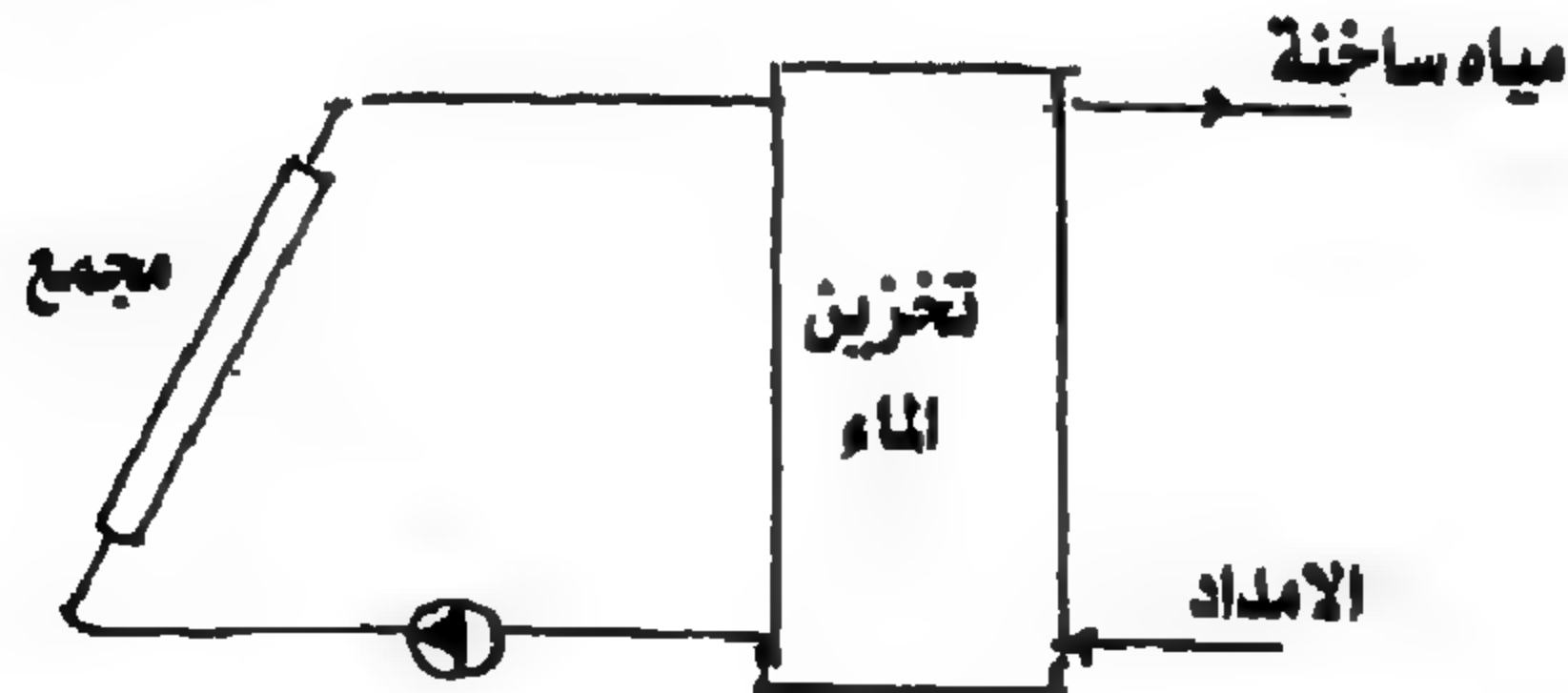
(9/16) نظام الهواء الساخن الشمسي مع التخزين

2- نظم الماء الساخن :

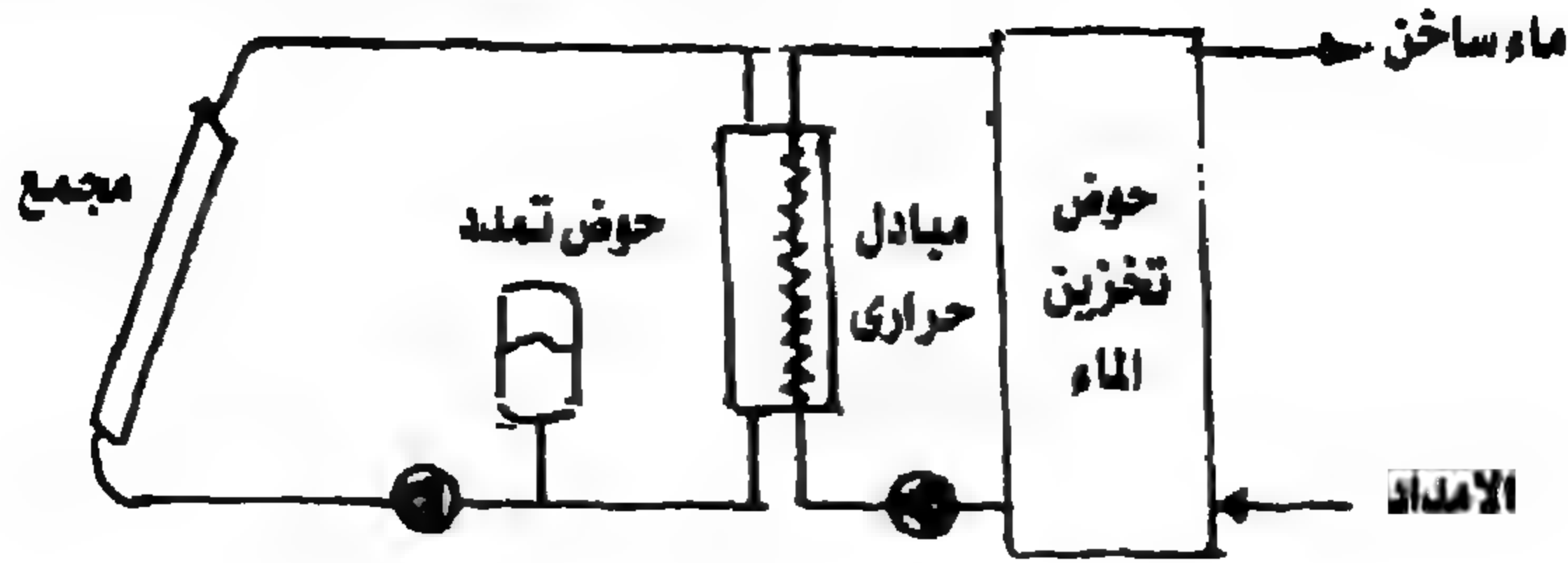
الأشكال رقم 10، 11، 12 تبين الثلاث أنواع المستخدمة عادة. الشكل (10) هو نظام الممر الوحيد أو النظام المباشر. الماء الساخن الخارج يذهب إما إلى العملية أو إلى التخزين. يمكن تحمل التغيرات المختلفة في درجات الحرارة. وهذا أبسط نظام. عندما يكون المطلوب التخزين للاستخدام الليلي يستخدم النظام الموضح في الشكل (11). لأسباب التآكل والترسيبات، والتجمد أو درجة حرارة أعلا من 100°C يمكن يتم عزل ضغط المجمع من ذلك للإمداد، فإنه يستخدم الحلقة المقفلة أو النظام الغير مباشر الموضح في الشكل (12). حوض التمدد يكون ضروريا لاحتواء تمدد مائع حلقة المجمع.



شكل رقم (10/16) نظام الماء الساخن الشمسي بالممر الواحد



(11/16) نظام الماء الساخن الشمسي بالحلقة المغلقة



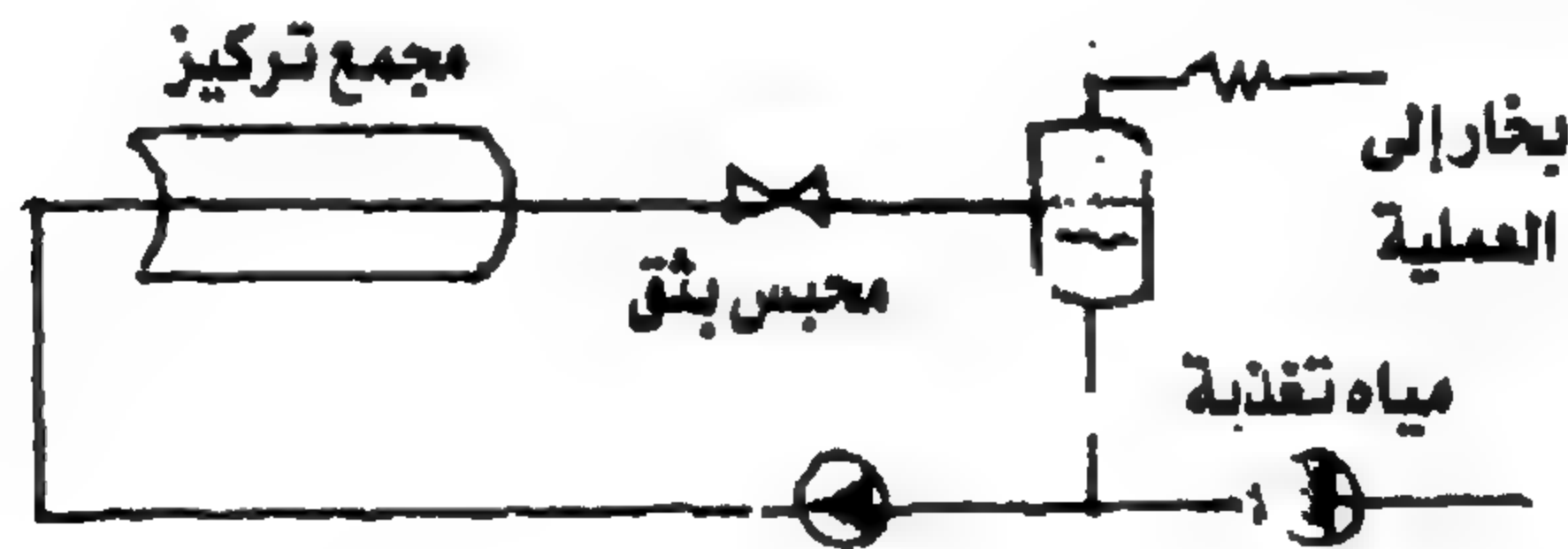
(12/16) نظام الماء الساخن بالحلقة المغلقة

3- نظم البخار:

يستخدم البخار كثيراً كوسط للانتقال الحرارى لكثير من عمليات الحرارة لدرجة حرارة أقل من 200°C . وهو يستخدم كذلك حتى للاستخدامات التى تتطلب درجة حرارة أقل من 100°C عند استخدام نظام تسخين مركزى. وهذا واضح من الجدول السابق. العمليات الصناعية لها تجارب كبيرة فى توليد البخار واستخدامه. لحسن الحظ فإن نظام البخار الشمسى يتضمن تعديل بسيط نسبياً بدون التغير فى عمل المحطة الحالية. الطرق المختلفة لتوليد البخار سيتم مناقشتها:

أ- نظام البخار الومضى: (Flash steam system)

المخطط موضح فى الشكل (13/16). الماء المضغوط يتم تدويره خلال مجمعات التركيز ويحدث الوميض خلال محبس البثق. خليط المجالين الناتج يحدث له الانفصال فى حوض الوميض. البخار يتم إرساله إلى العملية بينما الماء يتم إعادة تدويره ثانياً. مياه التغذية يتم حقنها للتعويض.



شكل (13/16) نظام شمسى بالبخار الومضى

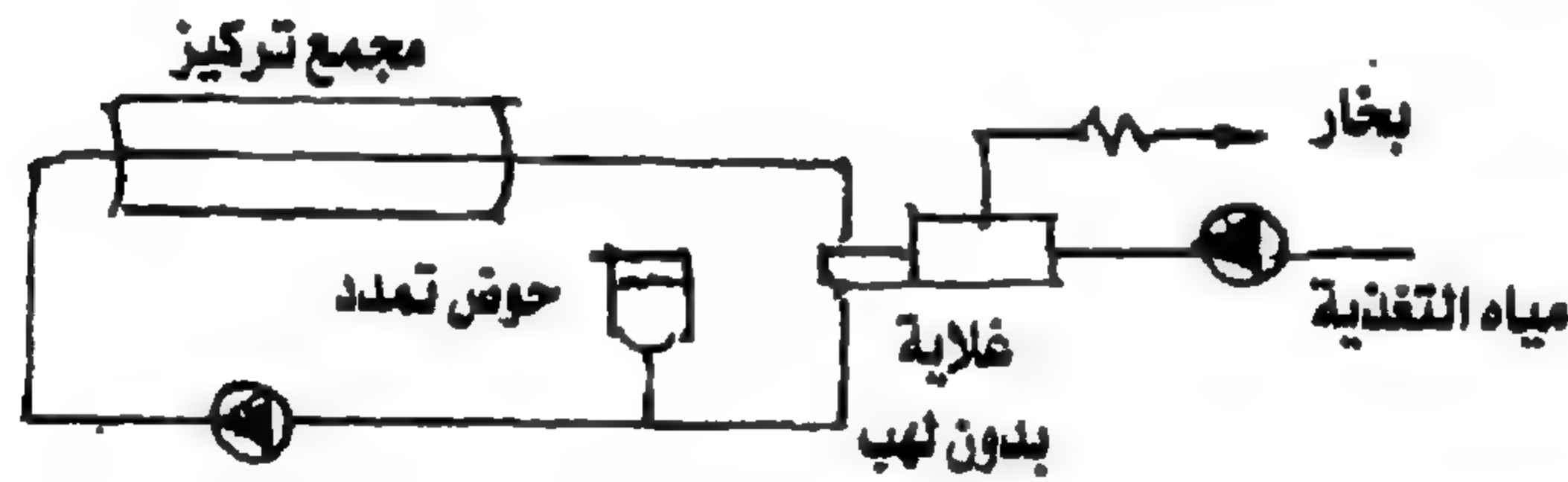
مائع التشغيل هو الماء الذى هو متاح ورخيص نسبياً وغير سام وغير قابل للاشتعال وله خواص حرارية جيدة. التعويض يكون بسبب التسرب وهو غير مكلف. ولكن، السلبيات هى أن ضغط البخار يزداد بسرعة فوق 177°C . هذا يحدد ضغط البخار التى يمكن توليدها بهذه الطريقة إلى حوالى 20 كجرام/سم² عند مستويات مقبولة

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية لطاقة الضخ المطلوبة. درجة حرارة المجمع يجب أن تكون أعلا كثيراً عن تلك للبخر بسبب الوميض (Flashing) إذا كان المطلوب نوعية مناسبة من البخر تحت التيار لمحبس البثق ولحد من معدل إعادة تدوير المياه.

ب- نظام البخر للغلاية بدون لهيب: (Unfired Boiler steam system)

المخطط موضح في الشكل (14). مانع الانتقال الحراري يتم تدويره خلال مجال مجمع التركيز ويتم توليد البخر في الغلاية بدون لهب. طبعي، المانع ذو ضغط البخر المنخفض بخلاف الماء يتم استخدامه، بحيث أن ضغط الحلقة (Loop) يظل منخفضاً. يمكن أن تكون الزيوت أروماتيك أو اليفايك والسيليكونات. الاختيار يتوقف على درجات حرارة التشغيل والسكون ومدى التوافق مع المكونات والعزل. وهي أكثر تكلفة عن الماء، خاصة السيلكونات.

في مثل هذا الشكل يعمل المجمع كذلك عند درجة حرارة أعلا من البخر المناول (Delivered) بسبب استخدام (Introduction) الغلاية بدون لهب. طبقاً للمانع، فإن قوة الضخ يمكن أن تكون كبيرة إذا كانت للزوجة عالية عند درجة الحرارة العالية. البداية يمكن أن تتطلب طلبية موجبة الإزاحة.



شكل رقم (14/16) نظام البخر بالغلاية اليدوي

شكل التخزين:

التخزين يكون مطلوباً عندما يكون الجزء الشمسي مرتفعاً (Solar fraction) (الجزء الشمسي يعرف بنسبة إمداد الطاقة بالنظام الشمسي إلى مطالب الطاقة) أو حدوث حمل خلال الليل. بالنسبة للعمل خلال وقت النهار فإن التخزين يمكن ويجب تجنبه. توجد عمليات التي بنيت للتخزين مثل شك الكتل الخرسانية.

تخزين الماء الساخن: يوجد نوعين من التخزين:

التخزين متغير الحجم والى يستخدم عادة لسخان الماء الشمسي ذو الممر الواحد كما هو موضح في الشكل رقم (15). التخزين يمتلئ عند وجود الماء من المجمع خلال

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

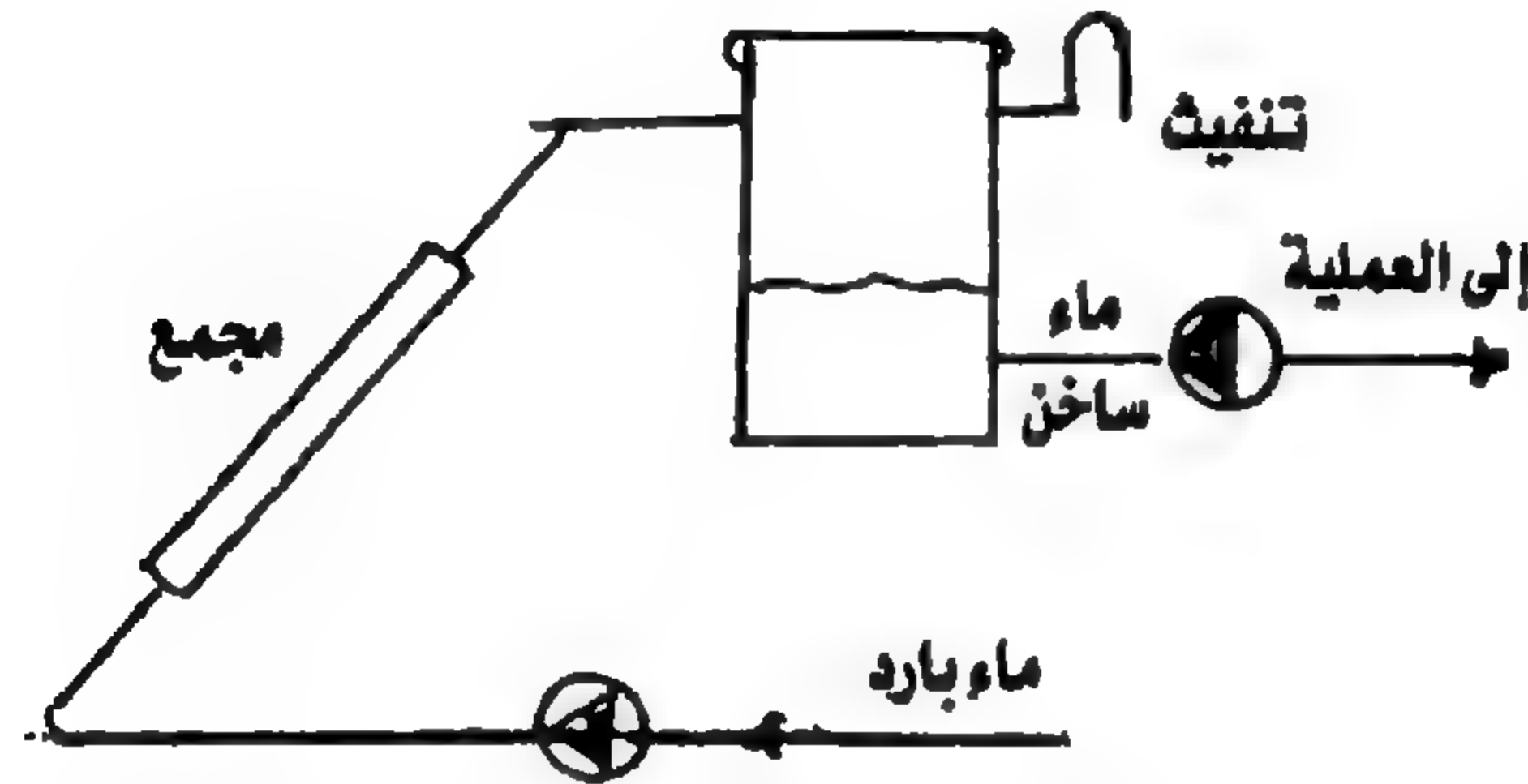
النهار. وهو لا يتطلب حوض غير مضغوط يمكن أن يكون بغطاء علوى معزول ومنفصل. ولكن السليبيات هي:

أ- الفقد بالتبخير والأبخرة المكثفة تدخل خلال العزل فى حالة عدم اللحام الجيد. يحدث تلف للعزل وبدأ التآكل الخارجى.

ب- التنفيس يكون مطلوباً لاستبدال الهواء وهذا يعمل كمكثف ارتجاع. خلال الليل فقد التخزين يمكن أن يكون كثيراً مقارنة بفقد العزل. يمكن أن يكون مرتفعاً مثل 10^8-10^9 م.

ج- أقصى مستوى للتحكم يكون مطلوباً لإيقاف الطلمبة.

د- يلزم طلمبة إضافية لنقل الماء الساخن على العملية إذا كان التدفق بالجاذبية ليس متاحاً.

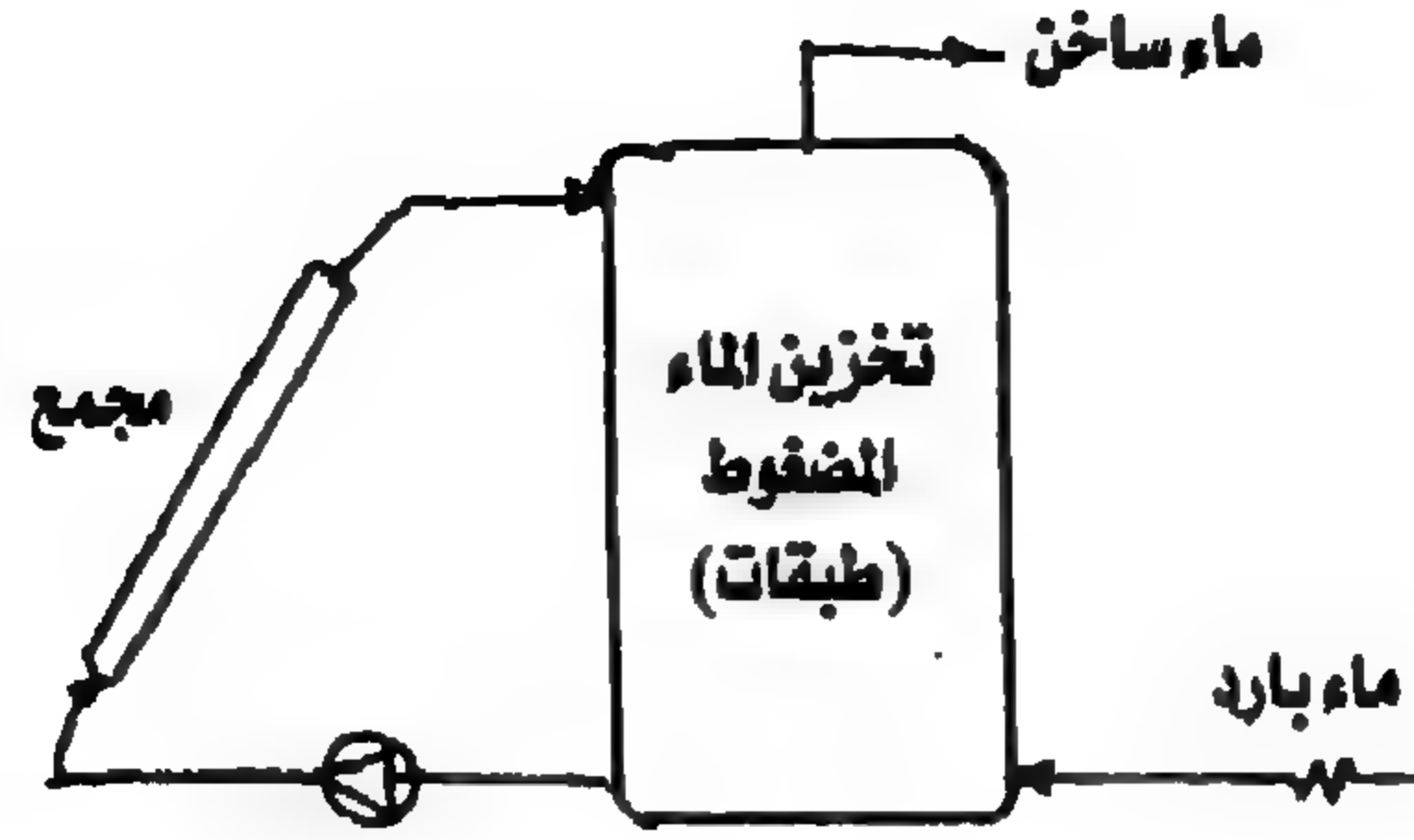


شكل رقم (15/16) تخزين الماء الساخن متغير الحجم

فى النوع الشمسى الآخر يستخدم الخزان المضغوط شكل (16/16). يدخل الماء البارد حيث يتم سحب الماء الساخن، بينما يعمل المجمع الحلقى مستقلاً. الضغط عادة لا يزيد عن 2 جوى ولذلك فإن سمك جدار الغلاف لا يزيد عن حجم حوض التخزين المتغير. فى حالات معينة، ويفضل فى كل الحالات، يتم تصميم الخزان إلى مادن الضغط الجوى فى حالة فشل محبس عدم الرجوع أو محبس تصريف الهواء عند تصريف الخزان. هذا يمكن أن يكون هاماً فى حالة الخزان عند سطح الأرض ولكن يتم مراعاته للخزانات على السطح. المقويات (Stiffener) يتم توفيرها بتكلفة عادية ولخفض سمك الجدار. الفرق يمكن أن يكون عند أقصاه بسبب متطلبات الرأس الطبقي. هذا الشكل شديد السهولة للعمل والفقد خلال الليل يمكن أن يحافظ عليه ليكون أقل من 5° م لدرجة حرارة تخزين من 60° - 70° م.

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

الترقيق (Stratification) يمكن استمراره الذى يسمح للنظم للتحسن بحوالى 10 - 15% للتخزين جيد الخلط.



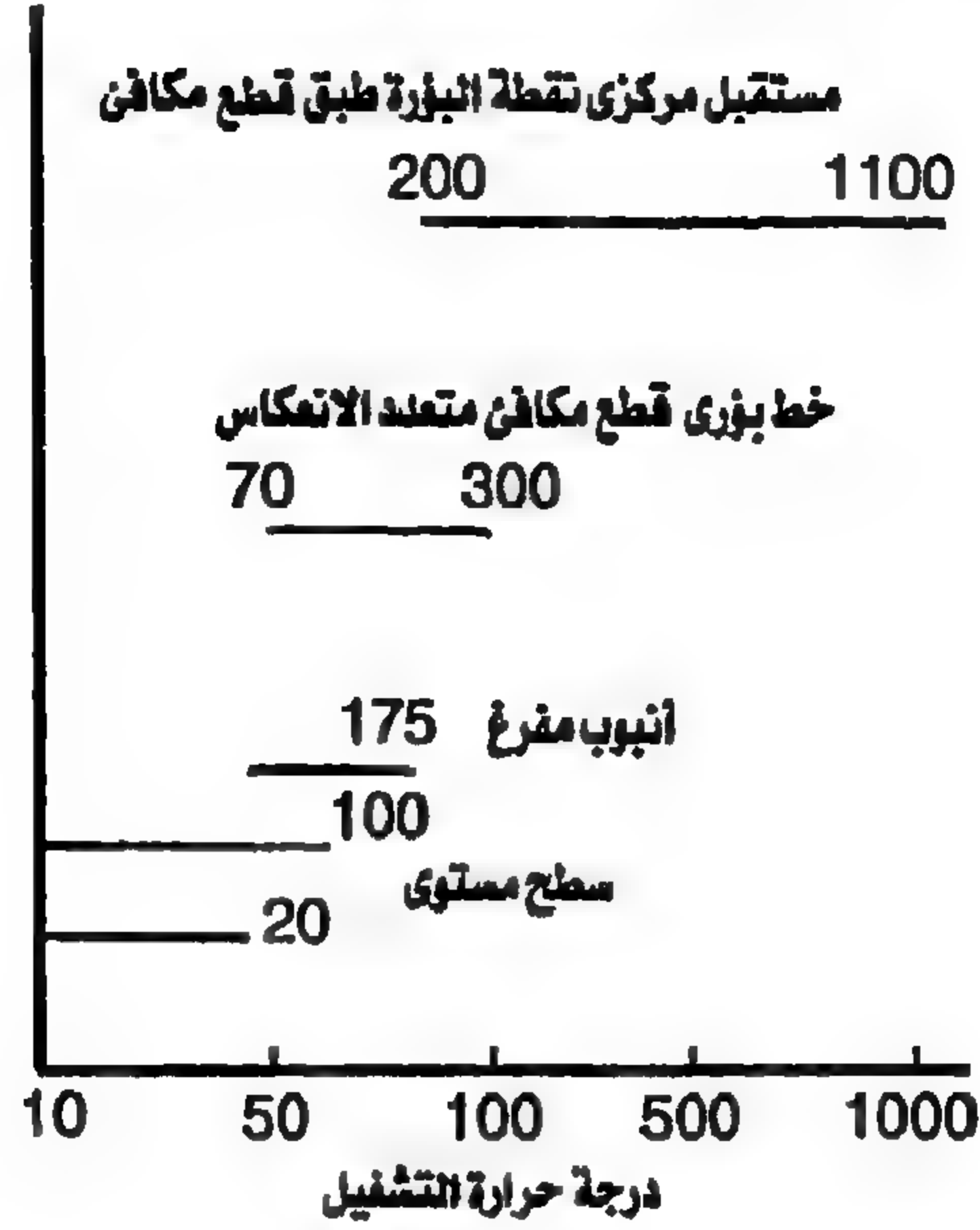
شكل (16/16) تخزين الماء الساخن المضغوط

اختبار المجمعات الشمسية لتسخين العملية الصناعية:

المجمعات الشمسية هي قلب النظام الشمسى التى تحول الإشعاع الشمسى إلى طاقة حرارية. أنواع كثيرة من المجمعات تم تطويرها، ومتاحة تجارياً وكذلك ما هو تحت التطوير، الشكل (17) يوضح مجال العمل للمجمعات المختلفة. تلك المجمعات تم مناقشتها سابقاً.

طريقة اختيار المجمع هي عادة عملية من خطوتين. أولاً، يتم تحديد النوع المناسب من المجمعات، ثم بعد ذلك يتم اختيار الصنف المعين (Brand). عادة يتم اختيار نوع المجمع أثناء مرحلة التصميم. اختيار نوع المجمع عند مرحلة مبكرة يعجل من باقى عملية تصميم النظام.

اختيار أفضل مجمع لاستخدام صناعى معين يتضمن تحديد أفضل قياس لأداء النظام الشمسى (هو المتوسط السنوى لإنتاج الطاقة بواسطة النظام) وكذلك التكلفة الكلية للنظام، يجب أن تشمل التكلفة المباشرة مثل المجمع، المواسير، العزل، المبادلات الحرارية، التحكم والطلبات وكذلك التكلفة الغير مباشرة مثل الإنشاءات، الصيانة.. الخ.



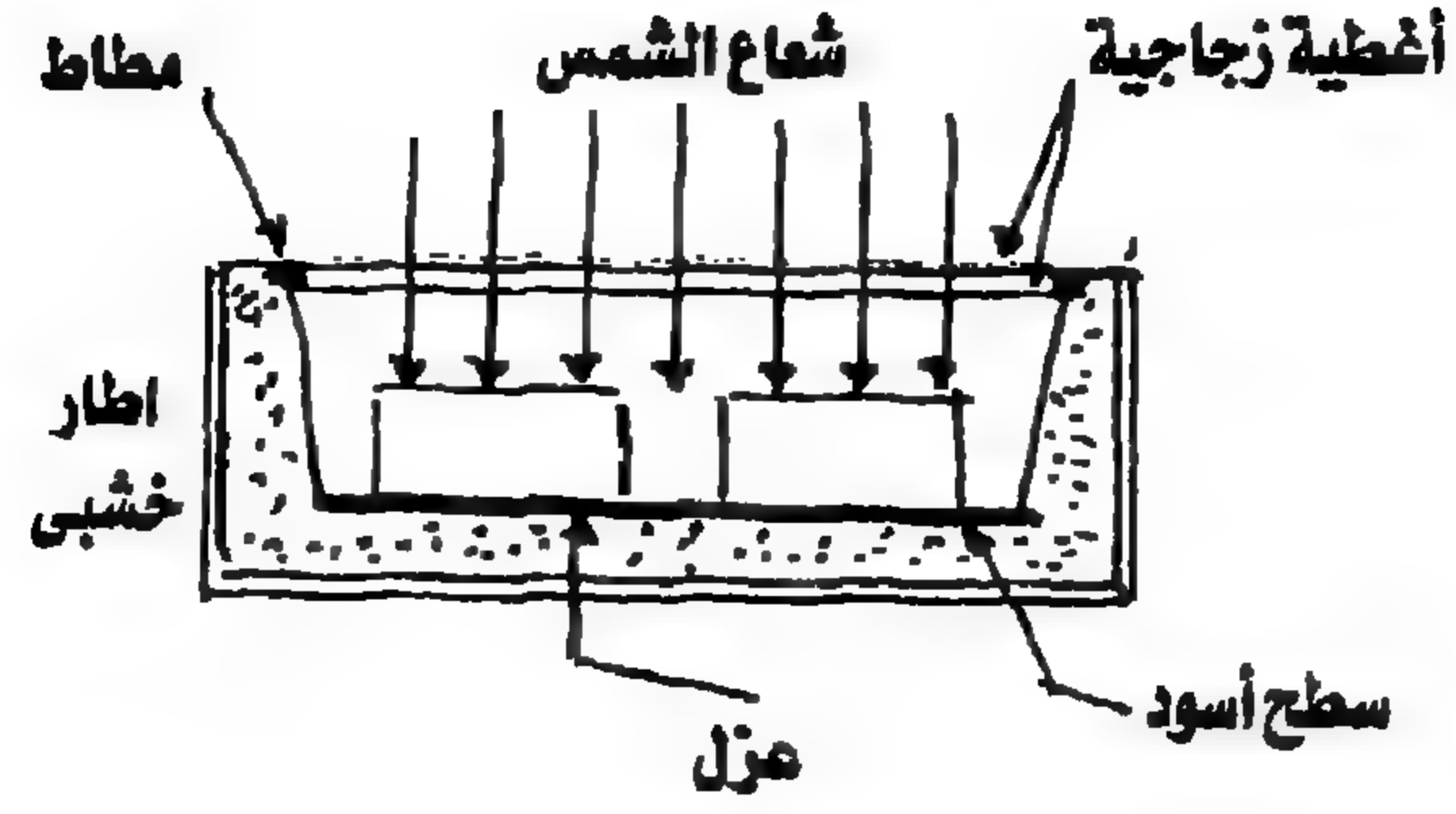
شكل (17/16) درجة حرارة التشغيل لمختلف المجمعات الشمسية للعمليات الصناعية

الطهي الشمسي : (Solar cooking)

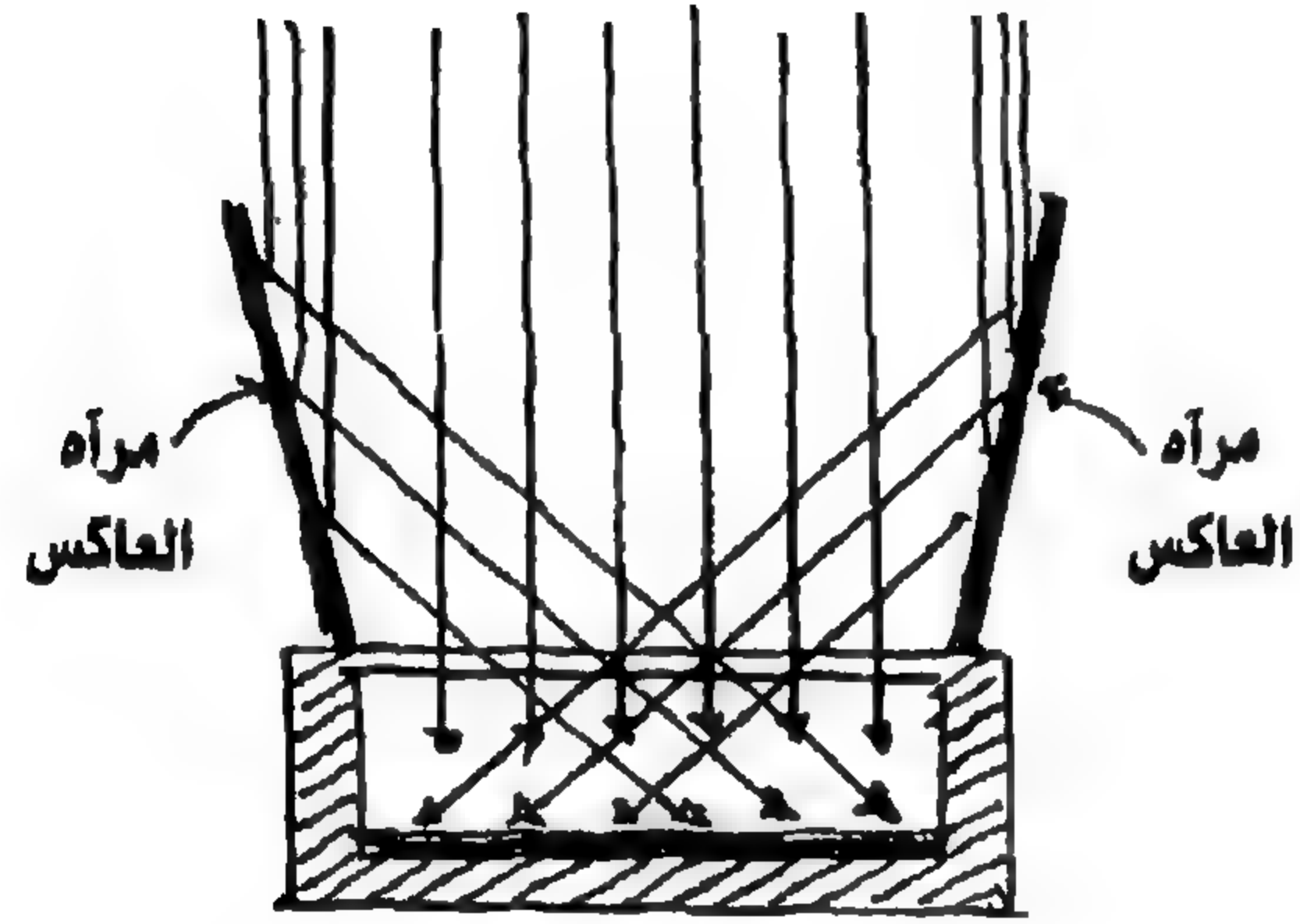
أساساً يوجد ثلاثة أنواع من الطباخ الشمسي:

- 1- النوع الصندوقي باللوح المستوي بعاكس أو بدون عاكس
- 2- الفرن الشمسي من نوع العاكس المتعدد.
- 3- نوع الطباخ الشمسي بقرص المركز بالقطع المكافئ.

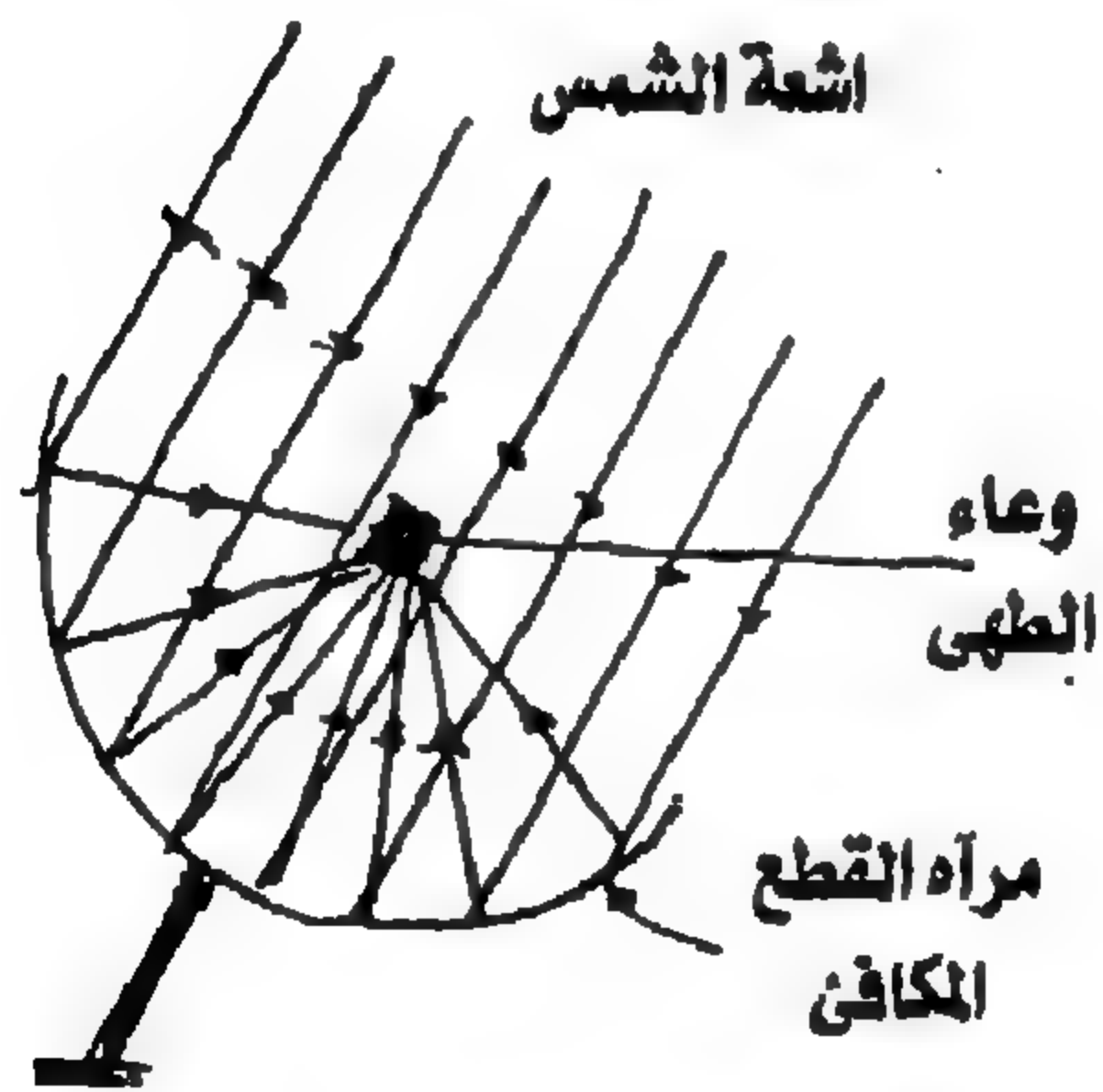
نوع تصميم الصندوق باللوح المستوي هو الأبسط من بين كل التصميمات. أقصى درجة حرارة بدون تحميل باستخدام عاكس واحد تصل حتى 160°C . في الفرن ذو العاكس المتعدد يتم تركيب أربع عاكسات مستطيلة أو مثلثة على جسم الفرن. الجميع يعكس الإشعاع الشمسي على منطقة الطهي حيث توضع أدوات الطهي. درجة الحرارة المنتجة هي حوالي 200°C . أقصى درجة حرارة يمكن أن تصل إلى 250°C ، إذا تم استخدام العاكس القمعي المركب. مع استخدام المركز من نوع قرص القطع المكافئ للطباخ الشمسي يمكن الحصول على درجة حرارة حتى 450°C حيث تكون الإشعاعات الشمسية مركزة في نقطة بؤرية. مبدأ العمل للطباخ الشمسي موضح في الشكل رقم (18).



أ- مبدأ الطباخ الصندوقي



ب- طباخ شمس من نوع العاكس



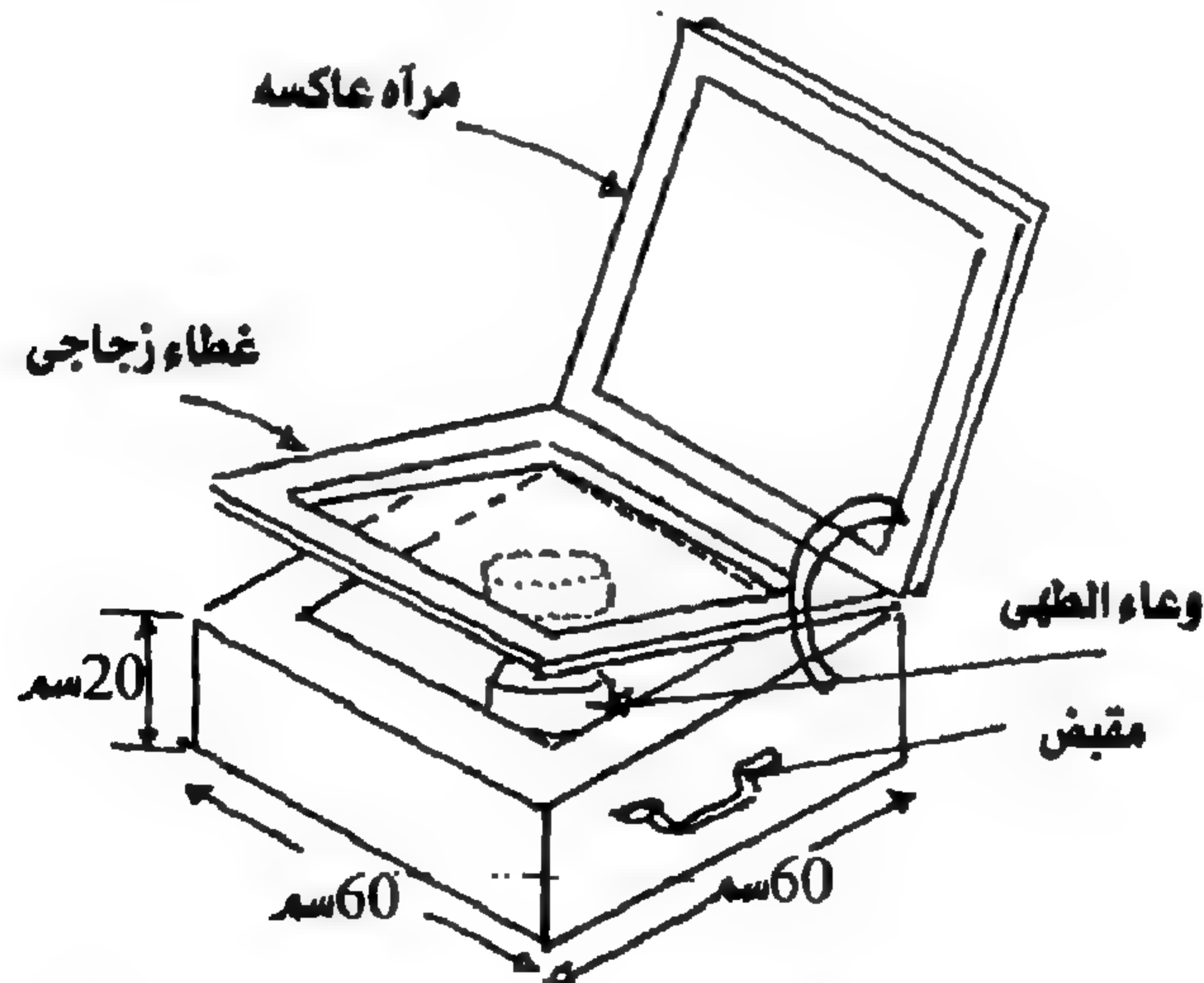
ج- مبدأ الطباخ الشمسي من نوع المركز

شكل رقم (18/16) أ ، ب ، ج

مبدأ التصميم وتفاصيل الإنشاء للطباخ الشمسي الصندوقي : (Box Type)

مبدأ العمل للطباخ الشمسي من النوع الصندوقي موضح في الشكل (18-أ). أشعة الشمس تخترق خلال الأغشية الزجاجية وتمتص بواسطة الصائبة السوداء المعدنية الموجودة داخل الصندوق الشمسي. الإشعاع الشمسي الداخل إلى الصندوق يكون ذو طول موجة قصيرة، وهي تتحلل إلى إشعاع حراري الذي له طول موجة أعلا. لا يكون قادراً على المرور خلال الغلاف الزجاجي. الغلاف العلوي للطباخ له لوحين من الزجاج متوازيين ولذلك فإن الفقد الحراري خلال إعادة الإشعاع يكون عند أدناه من السطح الأسود. الفقد خلال الحمل الحراري يكون عند أدناه وذلك يجعل الصندوق محكم القفل ضد تسرب الهواء وذلك بتوفير شريط من المطاط حوله ما بين الغطاء العلوي والصندوق. المادة العازلة مثل الصوف الزجاجي، أو نشارة الخشب، أو قشر الأرز أو أي مادة أخرى يتم ملئها في الفراغ بين الصائبة السوداء والغطاء الخارجي للصندوق. هذا يقلل الفقد الحراري بسبب التوصيل لحراري. عند وضع هذا النوع من الطباخ في الشمس، فإن السطح الأسود يبدأ في امتصاص أشعة الشمس وتبدأ درجة الحرارة داخل الصندوق في الارتفاع. أوعية الطبخ التي تكون هي الأخرى سوداء توضع في الداخل مع مادة الغذاء، تحصل على طاقة حرارية والطعام يتم طهيها في زمن معين طبقاً لدرجة الحرارة التي تم الوصول إليها في الداخل. درجة الحرارة التي تم الوصول إليها تعتمد على كثافة الإشعاع الشمسي ومادة العزل المستخدمة. كمية كثافة الإشعاع الشمسي يمكن زيادتها بتوفير المرآة أو المرايا.

الشكل رقم (19) يبين التفاصيل الكاملة لنوع الطباخ الصندوقي.



شكل رقم (19/16) تفاصيل لنوع الطباخ الصندوقي

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

الظاهرة البارزة في الطباخ الشمسي هي أنه لا توجد ظاهرة تدفق في التجهيزات. وهي تعمل تحت ظروف راکدة أو حالة اتزان. لذلك، فإن المعايير الحاكمة للطباخ مختلفة عن الكثير من التجهيزات الأخرى. الطباخ الشمسي يصنع من صندوق من الداخل والخارج معدني أو خشبي وعليه لوحين من الزجاج. صيانة الماص، (الصانية السوداء) يتم طلاءها بطلاء أسود مناسب مثل طلاء داخل الغلاية. هذا الطلاء يجب أن يكون معتماً في اللون بحيث أن يكون قادراً على تحمل أقصى درجة حرارة يمكن الوصول إليها داخل الطباخ وكذلك بخار الماء القادم من أدوات الطبخ. الغطاء العلوي يحتوي على سطحين من الزجاج كل بسمك 3 ملليمتر مثبتين في الإطار الخشبي مع حوالي 20 سم فاصل بينهم. يمكن إحكام الغطاء العلوي الكلي ضد التسرب باستخدام قفل بحلقة سقاطة (pad lock Hasp). يتم توفير لحام من مطاط النيوبرين حول أسطح الالتصاق للغطاء الزجاجي. وصندوق الطباخ. يتم توفير فتحة تنفيث لخروج البخار في اللحام. مساحة المجمع في الطباخ الشمسي تزداد بتوفير مرآة عاكسة مستوية مساوية لحجم الصندوق، ومتصلة بمفصلة (Hinged) على جانب واحد من الإطار الزجاجي يتم توفير آلية (دليل لضبط المرآة) لضبط العاكس عند زوايا مختلفة مع صندوق الطباخ. يتم الحصول على ارتفاع في درجة الحرارة من 15°م إلى 25°م داخل صندوق الطباخ عند ضبط العاكس لعكس أشعة الشمس نحو الصندوق. في الشتاء، عندما تكون أشعة الشمس أكثر ميلاً نحو السطح الأفقي، فإن العاكس يكون أكثر إضافة مفيدة.

الأبعاد الكلية للنموذج التقليدي هي 60 x 60 x 20 سم ارتفاع. هذا النوع يسمى طباخ الأسرة الشمسي حيث يقوم بطهي الطعام الجاف الكافي لأسرة من 5 - 7 أفراد.

تظل درجة الحرارة داخل الطباخ الشمسي ذو العاكس الواحد ما بين 70° إلى 110°م أعلا من درجة الحرارة العادية. درجة الحرارة هذه تكون كافية لطهي الطعام ببطيء وبانتظام وبالتأكيد بمذاق لذيذ مع المحافظة على قيمته الغذائية. أقصى درجة حرارة للهواء يمكن الحصول عليها داخل صندوق الطباخ (بدون حمل) هي 140°م في الشتاء، 160°م في الصيف. طبقاً للعوامل، مثل الفصل من السنة، الوقت واليوم، ونوع الطعام وعمق طبق الطعام، فإن زمن الطهي بهذا الطباخ يتراوح ما بين ساعة وأربع ساعات. اللحوم يجب أن تظل لمدة 3 - 4 ساعة. الخضروات تستغرق من 2/1 إلى 2.5 ساعة.

كل أنواع البقول يتم طهيها ما بين 2/1 إلى 2 ساعة. الأرز يتم طهيها خلال من 30 دقيقة إلى 2 ساعة. الطهي يتم أسرع في الصيف عنه في الشتاء لسبب درجة الحرارة الخارجية. أفضل ساعات النهار للطهي هي ما بين 11 صباحاً حتى 2 بعد الظهر. الزمن اللازم للطهي يقل إذا تم استخدام الأواني المعدنية ذات الغطاء المحكم والطلاء الأسود الداكن من الخارج. طبقات الطعام يتم طهيها سريعاً. الزمن اللازم للطهي يتناسب عكسياً مع مساحة المجمع.

مميزات الطباخ الشمسي من النوع الصندوق :

- 1- لا توجد مشكلة شياط أو حرق للطعام ولا فوران.
- 2- لا تكون هناك حاجة للتوجه أو تتبع الشمع.
- 3- ليست هناك حاجة للانتباه خلال الطهي كما في حالة التجهيزات الأخرى.
- 4- لا توجد حاجة إلى استخدام وقود أو صيانة أو تكاليف جارية.
- 5- بسيطة الاستخدام وسهلة في التصنيع.
- 6- لا تلوث الأدوات، المنزل أو الجو.
- 7- لا يتم تلف للفيتامينات في الطعام والطعام يكون مغذى وله مذاق لذيذ وجيد وطبيعي.
- 8- يمكن الاعتماد على كفاءة الطباخ لفترة طويلة.

عيوب الطباخ الشمسي هي:

- 1- يتم الطهي طبقاً لضوء الشمس، حيث يجب التخطيط المسبق للطعام.
 - 2- لا يتم الطهي ليلاً أو في أوقات السحب.
 - 3- يستغرق وقت أطول نسبياً.
- أخيراً حيث يكون هناك رغبة في استخدام الطباخ الشمسي فإن الطباخ الصندوقي البسيط هو المناسب من الناحية الفنية والاقتصادية.
- مبدأ التصميم وإنشاء النوع الصندوقي للفرن الشمسي (من نوع متعدد العواكس)
(Design principle and construction of box type (Multi reflector type)
solar oven

الطباخ من نوع الصندوق الساخن أو الأفران الشمسية تعتبر مثالية لأغراض خبز العيش. الفرن المعزول له نوافذ زجاجية لتسمح بالأشعة الشمسية. لقد قام دكتور (Telkes) بتطوير فرن الذي هو صندوق معزول وله مساحة طهي 10 بوصة مربعة، الميل نحو الشمس ويتم ضبطه كل نصف ساعة مع تحريك الشمس خلال اليوم. أربع من العاكسات المائلة من الألومنيوم اللامع على أجناب الفرن تعكس الضوء إلى أسفل خلال النافذة نحو الفرن. يتم الحصول على درجة حرارة 200°م وأعلى. يتم وضع وسادة عزل فوق النافذة للاحتفاظ بحرارة الإشعاع الشمسي الداخلية. يستخدم كذلك أملاح الهيدروكسيد المنصهر في أوعية محكمة لتخزين الحرارة لفترة زمنية أطول. أداء هذا الفرن يتأثر باختلافات وضعة وبالسحب والرياح.

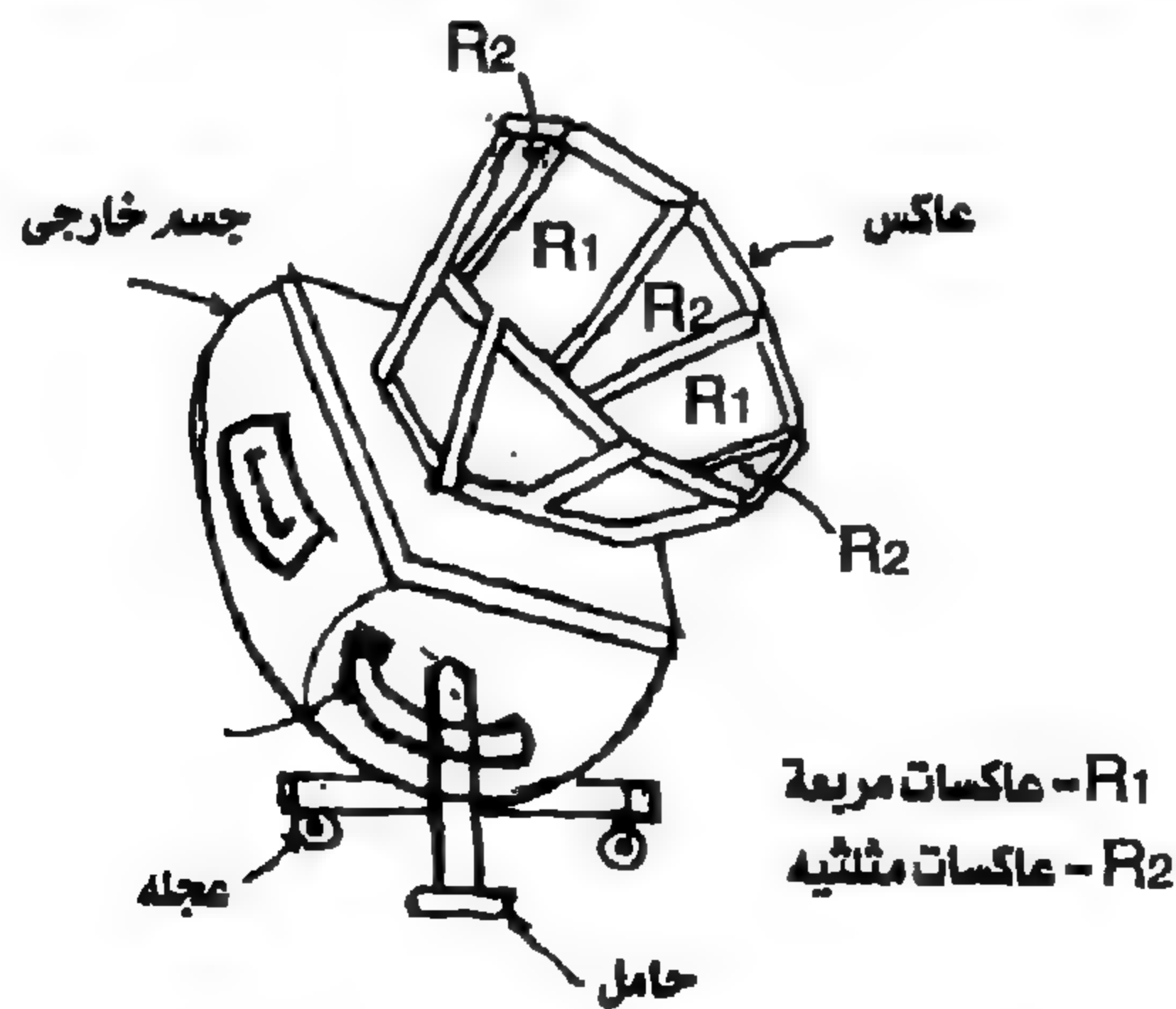
الشكل رقم (20) هو أحد الأفران من نوع العواكس المتعددة. هذا نوع معقد من الطباخ والذي يتكون من أجزاء كثيرة. هذا النوع من الفرن الشمسي يتكون من صندوق

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

معزول جيد شبه أسطوانى مصنوع من ألواح الألومنيوم (أو الحديد المجلفن) والخشب. هذا الصندوق يركب على حامل وعجل لتسهيل التحرك من مكان إلى آخر ويوجد إطار علوى مستطيل (نافذة) بحوالى 50 سم² حيث داخلها فتحة مربعة بحوالى 35 سم². يتم عمل غلافين والفصل بينهما (7.5 سم) يتم ملؤه بالصوف الزجاجى أو أي مادة عزل. الغلاف الداخلى يتم طلاؤه بالطلاء الأسود. باب بنفس مادة العزل يتم عمله كذلك لدخول وخروج الطعام، تتكون نافذة الفرن من غلافين من الزجاج الشفاف (بسمك 3 سم) بفاصل 2 سم. يتم كذلك تعليق حامل من النوع الشبكي مفككا (Loosely) من داخل لوح البرميل المعدنى. أبعاد الحامل الشبكي هي 35 سم × 17.5 سم بنهايتين مستقيقتين بارتفاع 16 سم. أوعية الطهى يتم المحافظة عليها على هذه الهزازات الشبكية (Cradles)، والتي تظل أفقية باستمرار، بصرف النظر عن الشمس، يوجد دليل ومفصلة التى تسهل تثبيت الصندوق عند أى زاوية، بحيث يمكنه تتبع الشمس العواكس الثمانية المصنوعة من مرايا الزجاج المفضضة، أربع بالشكل المربع (35 × 35 × 0.3) وأربع بالشكل المثلث (35 × 25 × 0.2 × 0.3). الفرن يمكن ميله يدوياً وتوجيهه نحو الشمس.

فى الأيام الصافية، تصل أقصى درجة حرارة اللوح فى الفرن إلى 350°م فى فصل الصيف، 250°م فى فصل الشتاء، عمليا كل أنواع أعداد الطعام مثل الطهى، القلى، الخبز والغليان يمكن عملها خلال من 25 إلى 75 دقيقة فى حالة السماء الصافية.

الميزة الرئيسية لهذا الفرن الشمى هي أن كفاءته عالية نظراً لأن أدائه لا يتأثر بالرياح ولا توجد فرصة لسقوط الغبار فى وعاء الطهى. كذلك فإن الطعام يظل ساخناً فى حالة وجوده بداخل الفرن لعدة ساعات حتى فى حالة عدم وجود ضوء الشمس.



شكل رقم (20/16) الفرن الشمسى

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

من بين الأبحاث والتجارب والاختبارات المختلفة أنواع الطباخ الشمسى، فقد وجد أن الطباخ الشمسى الصندوقى ذو العاكس الواحد هو الأرخص والأكثر كفاءة للمناطق الريفية.

الدفيئة أو الصوبة أو المستنبت الزجاجى الشمسى: (Solar Green House)

مقدمة:

الصوبة أو المستنبت الزجاجى هو غرفة النمو التى توفر إمكانية إنتاج النبات خلال العام. تلك هى مجمعات شمسية مؤثرة، الهدف من بناء البيت الزجاجى أو الصوبة هو السماح للشعاع المرئى ليتصادم مع قبة النبات (Plant canopy)، لذلك فإنه يلزم التوزيع المتجانس للشعاع الشمسى بحيث أن ظل النبات يمكنه استلام النصيب العادل من ضوء الشمس. هذا البناء بالمادة الشفافة يستخدم الطاقة الشمسية لتوفير النمو البيئى المحكم للنبات. تلك الإنشاءات يمكن كذلك توجيهها طبقاً لحاجة السكان سواء فى الريف أو المدن. الصوبة الملتصقة بالمسكن تخلق تحسن فى البيئة الطبيعية والعقلية للسكان هذا النوع من المجمع الشمسى (أو بيت الطاقة) يمكنه كك توفير كثيراً من الحرارة المطلوبة فى الشتاء. الصوبة سهلة الإنشاء نسبياً باستخدام تقنيات بسيطة ومواد ذات تكلفة منخفضة. بناء الصوبة أقل تكلفة عن بناء المنشأ بالعزل الكامل. وهو فى الواقع حياة فى المجمعات الشمسية التى توفر:

1- مصدر للطعام الغير مكلف ونو النوعية الجيدة حيث يمكن أن يتم النمو بواسطة الشخص.

2- مصدر لحرارة إضافية (التحكم فى درجة الحرارة) للمنزل الملتصق بها.

3- مصدر لضبط الرطوبة (التحكم فى الرطوبة) فى المنزل.

خلال فصل الشتاء فى نصف الكرة الشمالى، تكون السماء قريباً من الشمس إلى حد ما ويكون التداخل الجوى عموماً أقل منه خلال الصيف، لذلك يكون من المجدى الحصول على الطاقة الشمسية المتاحة لاستمرار نمو النبات خلال اليوم عند الليل. لسوء الحظ، فإن متوسط الصوبة يتم تصميمه بحيث أنه يفقد معظم الحرارة التى يكتسبها لتجنب التسخين الزائد خلال النهار، تاركاً أى تدفئة للفراغ للاستخدام وقت الليل. المستنبت الزجاجى الشمسى يعظم استقبال ضوء الشمس والحرارة بينما يقلل الفقد الحرارى إلى الأدنى عملياً بهدف توفير الحرارة المخزنة للاستخدام خلال وقت الليل وخلال الأيام حيث الغيوم والسحب. الصوبة توفر زراعة المحاصيل تحت بيئة محكمة. الصوبة هى منشأ مغطى بمواد شفافة التى تستخدم طاقة الإشعاع الشمسى لنمو النباتات

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

ويمكن أن يكون لها معدات تدفئة، تبريد وتهوية للتحكم درجة الحرارة. بيئة النبات تشير إلى:

- 1- درجة حرارة التربة. 2- درجة حرارة المواد. 3- رطوبة الهواء. 4- رطوبة التربة. 5- الضوء. 6- مكونات الهواء. 7- مكونات مجال الجذور. 8- الحماية من أعداء النبات. 9- التعرض إلى المطر. 10- سقوط البرد والثلج..الخ.

لقد ثبت أن القدرة على ممارسة التحكم فى المناخ الدقيق للمحصول (crop micro climate) ينتج عنه زيادة تراكمية فى التمثيل الضوئى للمحصول سيكون كذلك من الممكن إنتاج غذاء حتى فى تلك المناطق وفى تلك الفترات عندما تكون الزراعة الحقلية غير ممكنة. مع التحكم فى مناخ موقعى - صغرى للنبات فإنه يمكن أخذ المحاصيل خلال فترات كبيرة من الوقت مقارنة للفصل العادى من السنة، لذلك يمكن الحصول على مواد الطعام الطازج مثل الفاكهة والخضروات متاحة لفترة كبيرة من العام.

يوجد اختلاف غير عادى ما بين المحاصيل التى يمكن الحصول عليها فى الصوبة وتلك فى الحقول المفتوحة، خاصة بمساعدة الطرق الحديثة للزراعة المائية لنمو النبات. ولكن، استهلاك الطاقة فى إنتاج الغذاء يزداد سريعاً مقارنة بأى صناعة أخرى، الأغذية المصنعة تحتاج طاقة أكثر للزراعة والسماذ، الحصاد، والتعبئة والنقل تزيد عن محتوى الطاقة المتاحة لذلك الغذاء.

أنواع الدفنيات أو الصوبات: (Types of green houses)

الصوبة يمكن أن تكون منشأ مستقل خارج فى الحقل أو أن تكون جزءاً مكملاً للمنزل. الصوبة يمكن أن تغطى بالزجاج أو بطبقات من البلاستيك. عادة الجانب الجنوبي يكون من الزجاج بينما الجانب الشمالى يكون معزولاً. الإشعاع السماوى المعاق بالجانب الشمالى هو جزء صغير فقط من الإشعاع الكلى فى معظم المناطق.

بعض التقسيمات الكبيرة للصوبة تشمل الآتى:

- 1- النوع الملتصق الذى يمكن أن يكون متصلاً مع أى منشأ مناسب.
- 2- نوع المدخل الخارجى المسقوف (Porch type)، والذى يمكن أن يصمم كمدخل للمنزل أو المصنع أو المكتب.
- 3- الصوبة الحرة التى يمكن أن توضع على أى قطعة أرض.
- 4- نوع الحفرة، المستخدمة عادة على مستوى مختلف أو ميل بغرض حجز الحرارة.

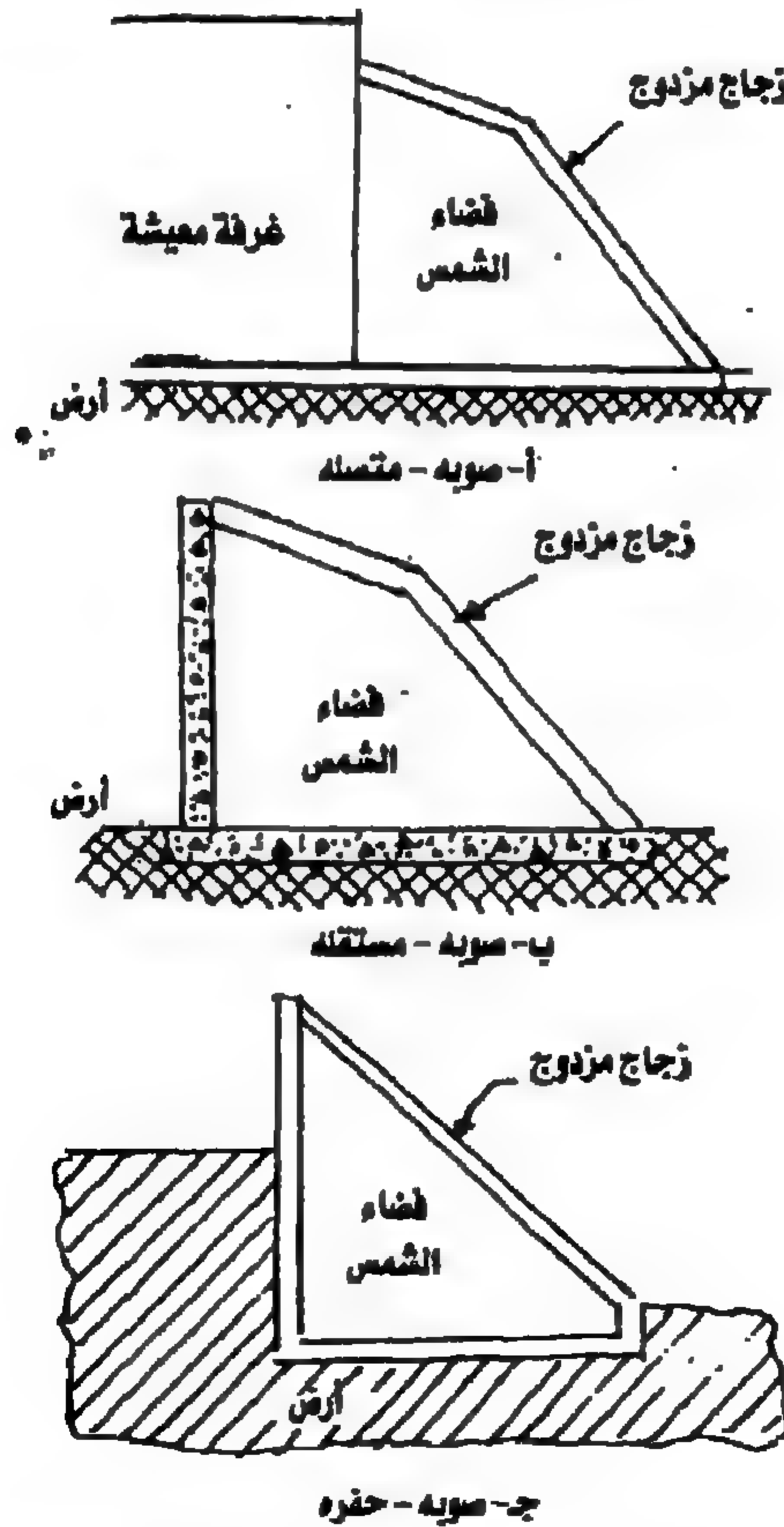
5- نوع الإطار البارد التى هى طبقات - ساخنة أو استعمال النمو الصناعى للنبات بالأسقف المائلة.

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

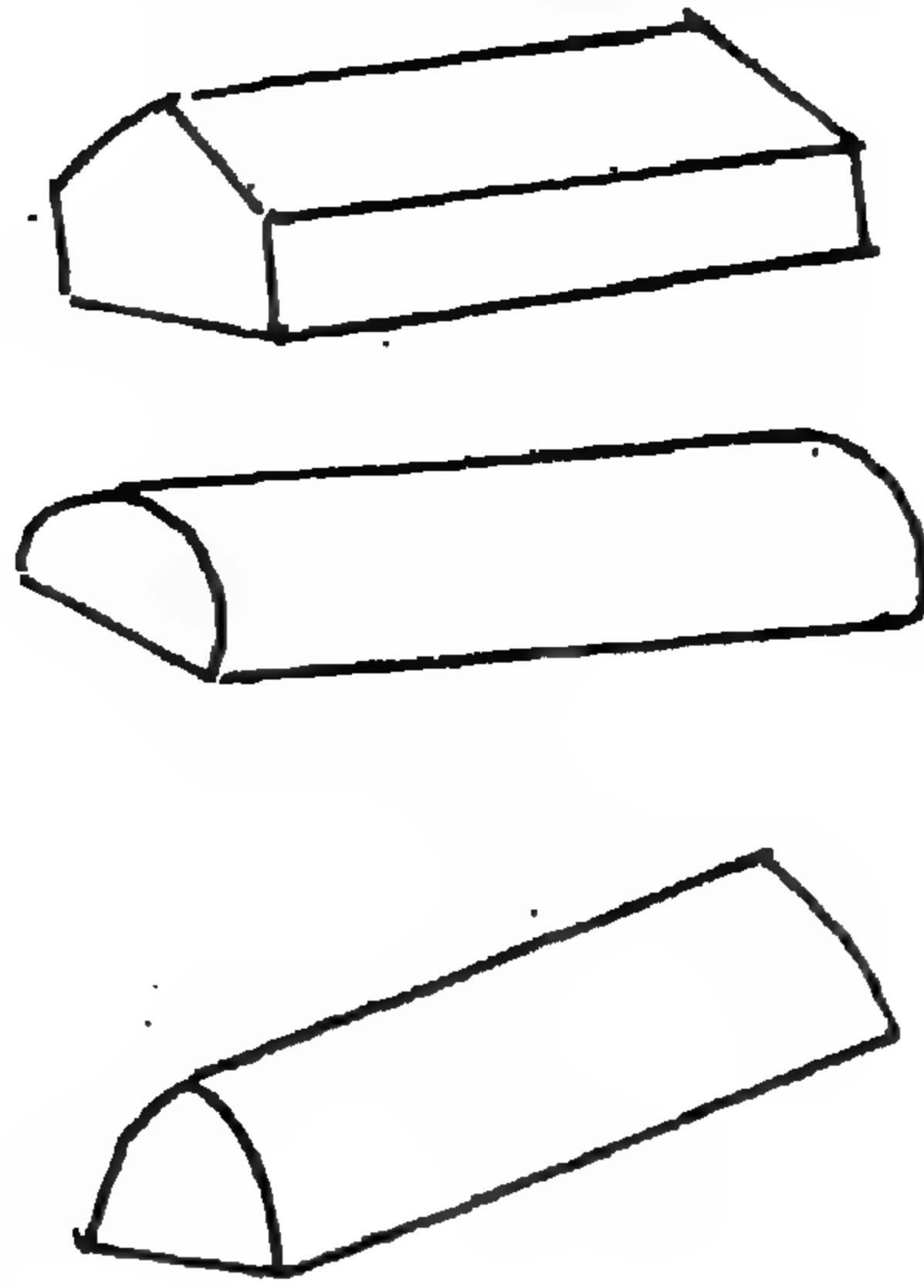
كل من الأنواع السابقة للصوبات يمكن تصميمه بطريقة الشمس الخاملة، بما يجعله جامع شمس كفؤ وتخزين للحرارة. كل تلك الأنواع من الصوبات يتم توجيهها نحو محور الشرق - الغرب ولها حائط مواجهة جنوبي وسقف شفاف. ميل السقف يتم تصميمه بطريقة مناسبة بحيث أن أقصى انتقالية للإشعاع الشمسي يمكن الحصول عليها وفي نفس الوقت يمكن استخدام العزل القابلة للإزالة بسهولة. ميل الحائط الجنوبي يتم تعيينه بحيث أن يسمح للإشعاع الحراري الداخلي المناسب.

الصوبة من النوع الملتصق يمكن أن تكون جزءاً من المنزل. وهي أقل تكلفة في الإنشاء كإضافة للمنزل الموجود. هذا النوع له ميزة أنه يمكنه سحب الحرارة من المنشأ السابق تدفئته عند الحاجة ويمكنه عودة الحرارة الزائدة في حالة الظروف المشمسمة. في الواقع، في حالة بناؤه في المكان الصحيح بالنسبة للنوافذ والأبواب الموجودة، فإنه يمكن أن يكون مصدر حرارة جيد للمنزل.

التصميمات المختلفة لنوع الصوبة الملتصقة موضح في الشكل رقم (21/16).



شكل (21/16) مخطط لمعظم أنواع الصوبات



شكل (22/16) أشكال لأنواع العادية للصوبات

ولكن تلك الممتد على طول المحور الشرقى - الغربى هو الأكثر كفاءة من ناحية الشكل للتجميع الشمسى. وعادة الحائط الجنوبي للمبنى المتصل به الصوبة كجدار حرارى (الطوب أو الماء) ومساحة سطحه الكبيرة تكون معرضة إلى ضوء الشمس. حيثما أمكن يكون المطلوب تجويف الصوبة فى البنى بحيث أن تكون الحوائط الشرقية والغربية هى كذلك قواطع عادية. هذا يساعد فى زيادة مساحة الالتصاق مع الفراغ المتاح. الوصلة الحرارية بين الصوبة الملصقة والمبنى تحدد تأثير الصوبة. لذلك، فإن المساحة السطحية للجدار المشترك، سمكها، المادة ولون السطح يلزم أن يتم اختيارهم بعناية. المهمة الأولى للصوبة هى لتدفئة المبنى، ثم أخذ الحرارة منه بواسطة الوسائل الميكانيكية وتخزينها للاستخدام فى المبنى، بما يزيد من كفاءة النظام. الحرارة المأخوذة من الصوبة يتم تخزينها فى طبقة صخرية عادة موضوعة فى الفراغ تحت سقف المبنى، فى هذه الحالة فإن الحائط المشترك يجب أن يكون حائط حرارى عادى (طوب أو ماء) أو يمكن أن يكون من أى مادة. فى حالة استخدام نافذة من الزجاج، فإن المنشأ يوفر وصلة بصرية جيدة بين الصوبة والفراغ الحى. كذلك، فى هذه الحالة، فإن الصوبة يمكن أن تستقبل حرارة كافية مرتدة من المنزل.

الصوبة الحرة ومن نوع الحفرة تكون غير متصلة مباشرة مع أى مبنى أو صوبة، على الجانب الآخر، فإنها منشأ مستقل، هذين النوعين لهما حوائط معزولة على الأجناب الشمالية، الشرقية الغربية. الحوائط مصممة بطريقة مناسبة لتسمح بأقصى

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

انعكاس للأشعة القادمة على قبة النبات. يتم توفير إمكانيات التخزين الكافية طبقاً للمتطلبات. نوع الحفرة يختلف عن نوع القائم الحر لكونه مغمور جزئياً. لذلك فإن له ميزة كونه ملتصقاً مع درجة الحرارة الثابتة لعمق الأرض.

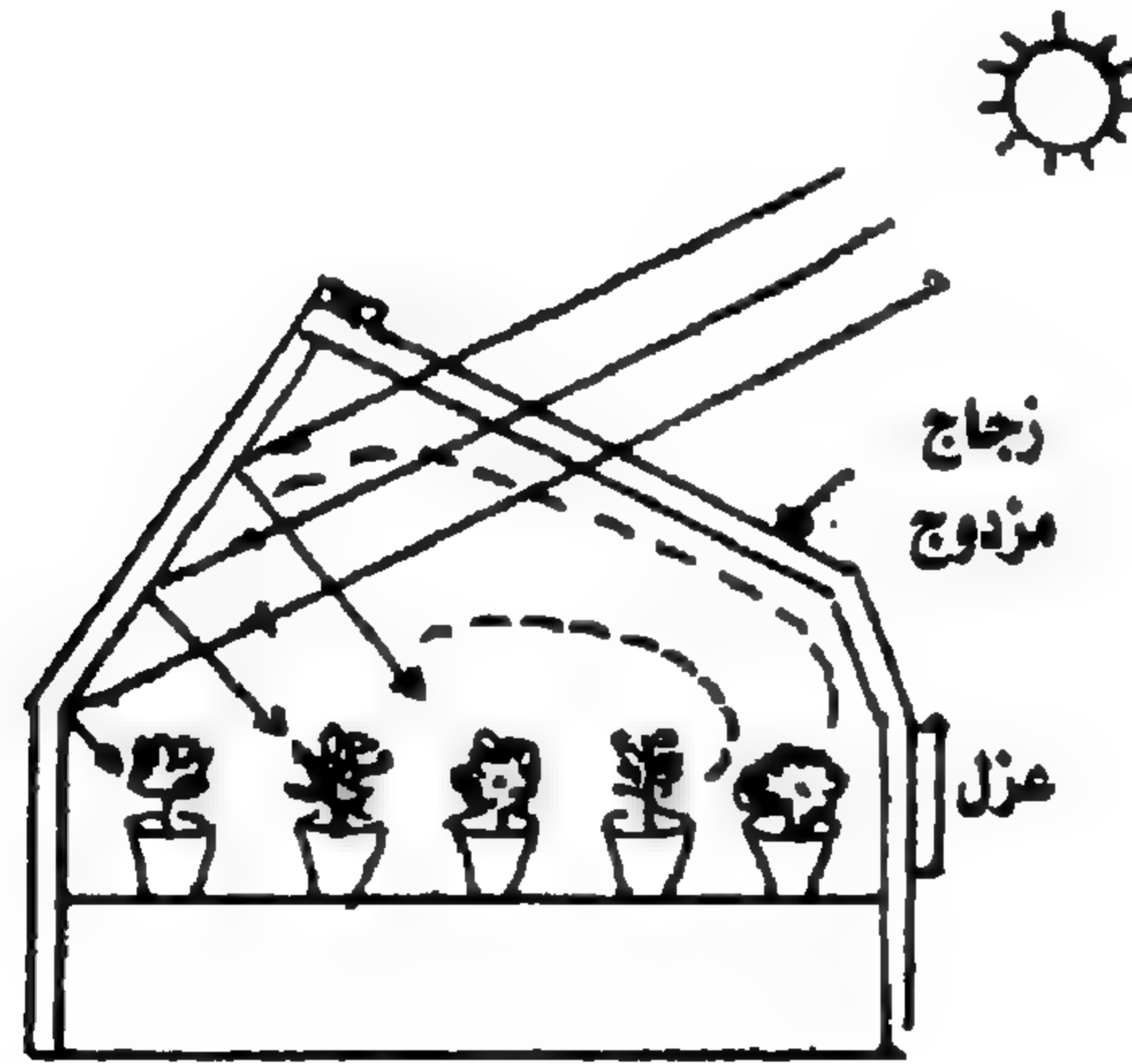
توجد كذلك طريقة أخرى لتصنيف الصوبات طبقاً للظروف المناخية أى يمكن أن تكون:

- الصوبات الشتوية.

- الصوبات الصيفية.

أ- الصوبات الشتوية:

هذا النوع من الصوبات شكل (23/6) يتم إنشاؤه فى البلاد حيث تكون درجة الحرارة العادية الخارجية منخفضة جداً مقارنة بمتطلبات نمو النبات > من الواضح أنها تستخدم لأغراض التدفئة. لذلك، فإنه يلزم الانتباه نحو اقتناص الكافى من الدفئ القادم من الشمس، لذلك فإن الجانب الجنوبى يكون عادة من الزجاج، أحياناً مزدوج الزجاجية، السطح الداخلى للحائط الشمالى يكون مطلياً بالدهان الأبيض واستخدام العزل المتحرك لمنع فقد الحرارة الغير مطلوب، توفير إمكانيات التخزين لتلبية الحاجة خلال ساعات عدم سطوع الشمس وبعض الظواهر الهامة. النوافذ يتم تجهيزها حوائط الشرق والغرب للتهوية.

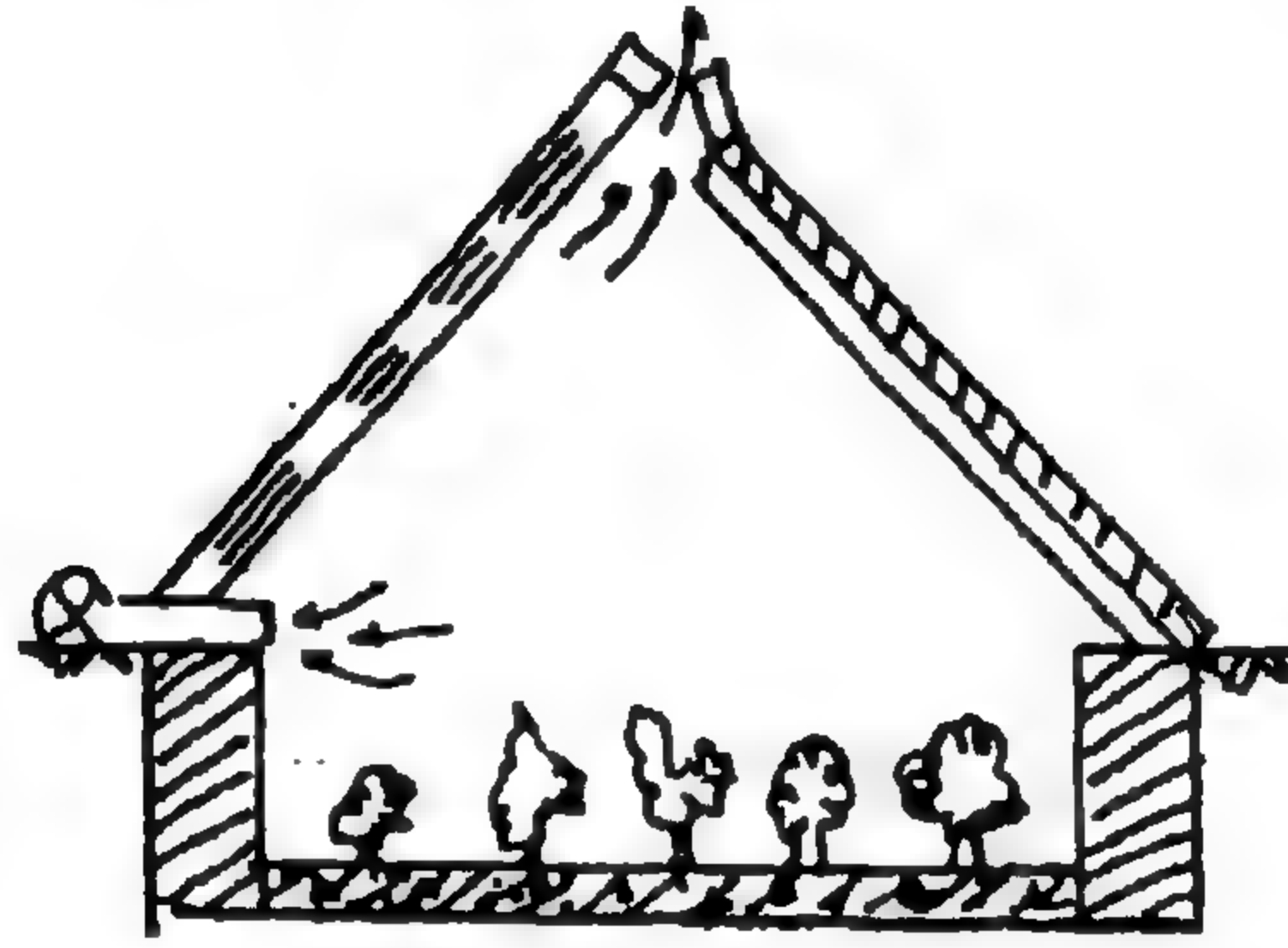


شكل (23/16) مخطط لصوبة شتوية

ب- الصوبات الصيفية:

هذا النوع من الصوبات موضح فى الشكل (24/16) وهو يوجد فى البلاد حيث درجة الحرارة الخارجية العادية تكون عالية جداً مقارنة لدرجة حرارة نمو النبات،

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية
عادة مناخ الصيف يتصف بارتفاع درجة الحرارة العادية، السماء الصافية والرطوبة المرتفعة. لذلك فإنه يتم تصميم الصوبة، بحيث أن درجة الحرارة الداخلية قد لا تصل إلى الارتفاع العالي. عادة هذا النوع من الصوبات له مجموعتين من النوافذ موضوعين في حائط الشمال والجنوب. تلك النوافذ يمكن استخدامها لتبريد الصوبة بالحمل الحراري الحر. طريقة أخرى هي عمل ماسورة للنوافذ في الجدار الجنوبي الذي خلاله تهب الرياح بعد أن يتم تبريدها بالتبخير بالمرور خلال وسادات التبخير. كذلك الحائط الجنوبي يكون مغطى بعزل قابل للتحرك، بينما الإشعاع المطلوب يمكن دخوله خلال حوائط الشرق والغرب. داخل الحائط الشمالي عادة يكون مغطى بطلاء عاكس.



شكل (24/16) مخطط لصوبة صيفية

معايير نمو النبات:

عموماً، توجد معايير مختلفة تؤثر على نمو النبات، ومناقشتها سوف تساعد على تحليل التصميم لإنشاء الصوبة.

1- الضوء: الضوء من الأساسيات المطلوبة في نمو النبات، عند كثافة ضوئية حوالى 16500 وحدة إضاءة لوكس (lux)، حيث لوحظ النمو الجيد للنبات ولكن النباتات تنمو جيداً عند كثافات ضوئية 27500 لوكس (فقط ربع إجمالى ضوء الشمس)، النباتات وجد أنها تستخدم فقط الطاقة الإشعاعية في الجزء المرئى والقريب من المرئى للطيف.

2- درجة الحرارة: في البيئة المحكمة تنمو النباتات عند درجات حرارة ما بين 10°، 25°م.

3- درجة حرارة التربة: لمعظم النباتات، درجة حرارة التربة من 20 إلى 25°م ثبت أنها المفضلة درجة الحرارة هذه تحدد قدرة النبات على امتصاص الماء

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

من التربة نظراً لأن انخفاض درجة حرارة التربة ثبت أنها خطيرة ومدمرة للنباتات الصغيرة. درجات حرارة التربة المرتفعة يوصى بها للنباتات الجذرية أو بذور الإنبات.

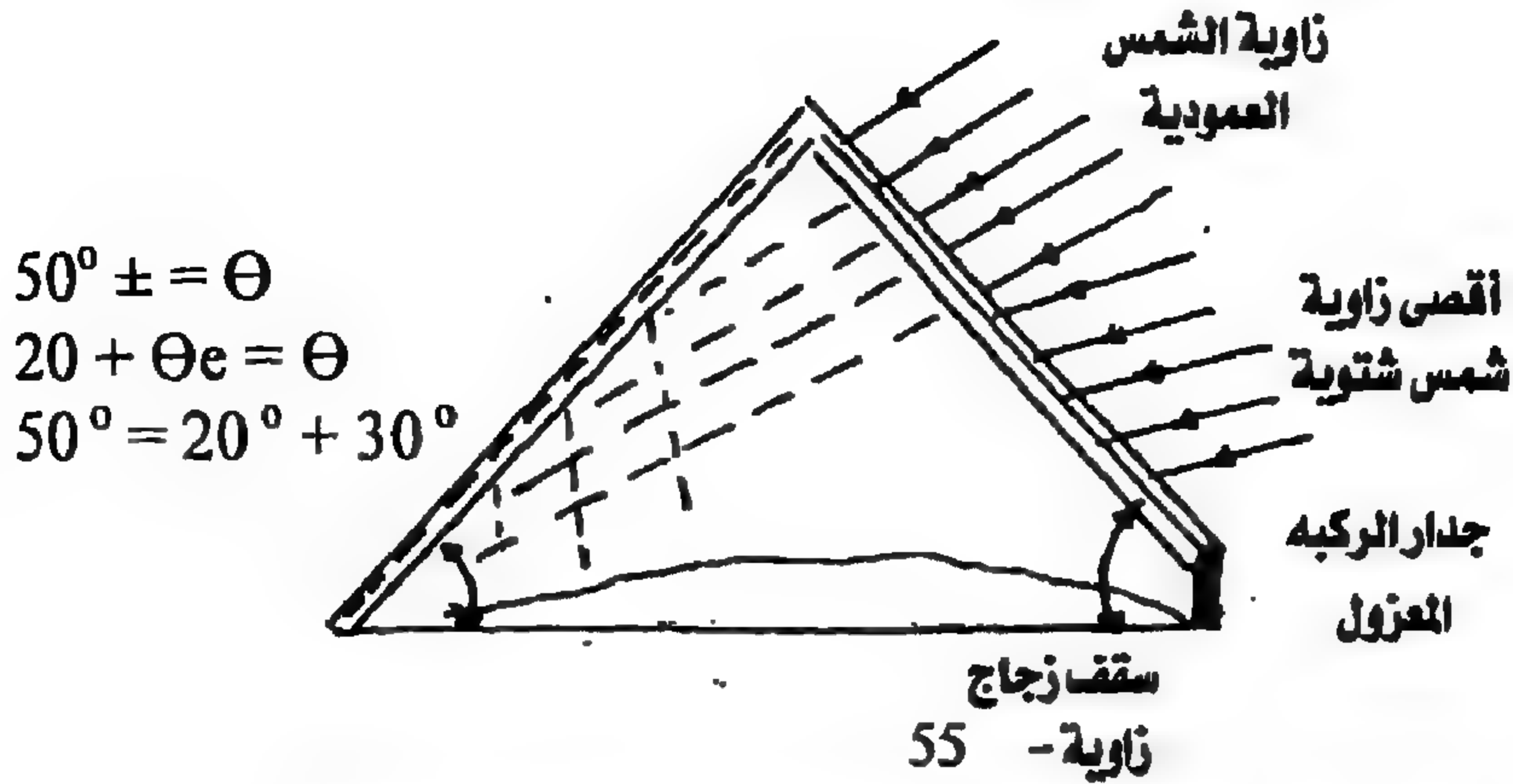
4- حركة الهواء: حركة الهواء تؤثر على التنفس، تبخر الماء من التربة، ووفرة ثاني أكسيد الكربون.. الخ. هذا بسبب تغير في حجم الورقة، واعتبارات أخرى لنمو النبات. في نمو النبات، عند سرعة 0.8 إلى 2 سم/ث ثبت أنه الأفضل لنمو النبات.

5- الرطوبة: الرطوبة تؤثر على نمو النبات بشدة حيث القيم المنخفضة وكذلك المرتفعة قد تجعل النبات أكثر عرضة للأمراض بسبب الكائنات الممرضة، الرطوبة العالية تنتج نباتات عالية. الرطوبة المنخفضة تسبب زيادة في معدل البخر ولذلك تكون هناك حاجة زائدة للماء. في كثير من نظم نمو النبات فإن الرطوبة ما بين 55 و65% عند درجات حرارة 21م إلى 25م يتم المحافظة عليها.

مبادئ التصميم:

التوجيه:

في حالة بناء صوبة ملتصقة نحو جدار مواجه الجنوب في نصف الكرة الشمالي عند خط عرض أكبر من ذلك لمدار السرطان (23° 28' شمال وضع الشمس إلى الشمال من فوق الرأس) فإنها سوف تستقبل معظم ضوء الشمس المتاح أكبر من الحرارة التي سوف تسقط على صوبة حرة غير معاقة. أكبر مكون لحزمة الشعاع المباشر الأكثر قيمة سوف تكون دائماً تخرج من الجنوب فقط نصف الإشعاع السماوي المنبعث من الجنوب والأقل قيمة سيكون مفقوداً. عندئذ سوف يكتسب المسكن حاجز حراري وحماية من الرياح الشمالية. إذا كان الحائط المواجه للجنوب مغطى بالطلاء الأبيض، فإنه سوف يعكس ضوء الشمس إلى منطقة النمو عند مؤخرة الصوبة، بما يمكن محاصيل معينة لتنتج مبكراً عن حالة الصوبة ذات الاستقامة الحرة، في حالة طلاء الجدار المواجه للجنوب باللون الأسود، فإنه سوف يمتص في الحال إشعاع أكثر ويعكس القليل (يعمل كخزان حرارة والذي عندئذ يعطي الحرارة المخزنة ببطء إلى الصوبة)، النمو المتضمن زراعة الفاكهة أو الحاصلات الجذرية يمكن أن يكون الطلاء المواجه للحائط لجنوبي باللون الأبيض لزيادة توفر الضوء، مع النباتات الخضراء، هذا يمكن عدم اعتباره أنه مهم بسبب توفير التخزين الحراري.



شكل (16/25) الصوبة الشمسية أكبر ميل للتوجيه (30°N)

شكل الصوبة الحقيقية الشمسية الفعال هو غالباً يتحدد ذاتياً، ولكن يتغير طبقاً للمكان وظروف الجو. القانون النظري المفيد الذى لا يتطلب حسابات ذات متغيرات عديدة هو ببساطة بإضافة 20° فقط لمكان خط العرض لتعيين ميل السقف المطلوب، فمثلاً، عند 30° شمالاً فإن زاوية السقف للأرض سوف تكون 50°. إذا كان هناك يوم مشمس نقي سائد خلال الشتاء، عندئذ فإنه ليس من الضروري نظرياً عملية الضبط، ولكن إذا كان السائد هو أيام السحب فى الشتاء فإن الزاوية سوف تكون أقل قليلاً فى الميل للاستفادة من انتشار الشعاع من السماء. نظراً لأن زوايا السقف شديدة الميل تؤدي إلى صعوبة وارتفاع الإنشاءات، لأغراض عملية، يكون من المفضل إضافة فقط 10° إلى المكان أو إذا كان هناك قيود فى الإنشاء، فإن ميل السقف لا يقل عن ذلك لخط عرض المكان. لتقدير إعاقات المكان، فإن احتمالات ضوء الشمس باستخدام Protractor يتم استخدامها (وهى منحنيات قياسية التى يمكن منها تقدير احتمالية ضوء الشمس).

مثل أى مجمع شمسي آخر فإن الصوبة الشمسية يتم توجيهها فى الاتجاه الشمالى، ولكن الحيود من الجنوب الحقيقى يمكن قبوله عموماً ولنمو النباتات يمكن أن يكون مطلوباً. نظراً لأن ميل السقف للصوبة الشمسية هي عموماً أكثر حدة ميل عن ميل السقف للمنازل المسكونة، فإن الحيود من الجنوب الحقيقى يمكن أن يكون عند 20°، الحيود حتى 45° سوف ينتج فيما لا يزيد عن 20% خفض فى إجمالى الإشعاع اليومي. يوجد حوار للتوجيه فى الاتجاه الجنوبى - الشرقى الذى سوف يسمح للصوبة لزيادة الاستفادة من شمس الصباح الباكر، خاصة مباشرة بعد ليل الشتاء الطويل البارد وحيث المكان يبدو فيه الصباح النقي. لذا فإن كثيراً من عوامل المناخ ومختلف طبيعة

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

المحاصيل يمكن أن تؤثر على مكان الصوبة حيث من المهم للمستخدم دراسة المناخ لتوفير الحماية من الرياح السائدة، وكذلك التأكيد إذا كان الشعاع المنتشر أو المشتت يشكل جزء كبير من الإشعاع الكلي المتاح، وما إذا كان من المفضل استخدام حوائط معزولة معتمدة في الركن الشمالي لتحسين الإضاءة النهارية أم الركن الجنوبي يمكن عندئذ تزجيجه (Glazed) لتعظيم التجميع لإشعاع الشمس الشتوية.

حوائط الطرف /النهاية: (End Walls):

حوائط الطرف/ النهاية جنوب - شرق أو جنوب - غرب يجب أن تكون دائماً مزججة، تزجيح الحوائط الشرق - الغرب يمكن أن يسمح للضوء نحو الجنوب المزجج للمرور مباشرة وبذا يوجد حوار حول عزل تلك الحوائط.

الموقع: (Site)

يبدأ التصميم باختيار الموقع المناسب للمكان، من الضروري معرفة كيف أن الشمس تتحرك خلال السماء عند ذلك المكان. عند الجمع مع بيان المناخ المحلي، فإن دراسة ممر الشمس يمكن أن يعطى متى وأين يمكن أن تكون الشمس محققة للدقي. ذلك سوف يساعد كذلك في تقرير متطلبات تخزين الحرارة، العزل وإمكانيات التظليل.

التزجيح (Glazing):

يلزم توفير طبقتين أو أكثر من الزجاج في المناخ البارد. إذا كان هناك استخدام للعازل المتحرك ليلاً يمكن استخدام طبقة واحدة من الزجاج. الزجاج هو المادة الأكثر استخداماً ولكن للتزجيح يمكن استخدام الصوف الزجاجي، البولي إيثيلين، الأكليريك، وكذلك البولي كربونيت.

التهوية: (Ventilation)

التهوية الجيدة مطلوبة لنجاح عملية الصوبة، قد يلزم تغيير الهواء الداخلي كل ساعة، أو أكثر تحت بعض الحالات للمحافظة على جفاف النبات بما يكفي للحماية من عدوى الخمائر والفطريات. الهواء الخارجي يمكن إدخاله نحو الداخل خلال مواسير هواء عند عمق 2.5 - 3 متر تحت سطح الأرض بحيث أن مساحة النمو سوف يحدث لها الدقي في الشتاء والبرودة في الصيف، صرف العادم (vent) إلى الخارج يمكن استخدامه في المناخ الحار.

زيادة المكسب الشمسي: (Increasing Solar Gain)

زيادة الأشماس ممكن بطرق كثيرة، أحد هذه الطرق هي بتوفير مغلاق عزل خارجي الذي يقلل الفقد الحراري من الصوبة، وبذا يزيد من المكسب الشمسي. المكسب

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

الشمسى يمكن زيادته كذلك عند الطلاء الفضى للسطح الخلفى للصوبة بـسطح عاكس، والذى سوف يعمل كمرآة تقوية وبالتالي يمكن زيادة المكسب الشمسى. إطار الحائط الجنوبي يمكن كذلك طلاءه بواسطة طلاء أبيض عاكس لعكس الإشعاع الشمسى نحو الصوبة.

تخزين الحرارة: (Heat storage)

تخزين الحرارة الشمسية للاستخدام فيما بعد له أهمية كبيرة بالنسبة للصوبة. عند توفر شمس الشتاء، فإن استخدام حوائط ضخمة، أرضية يمكن أن يكون كافياً للتخزين. للمناطق ذات ضوء الشمس المنخفض شتاءً يمكن توفير تخزين حرارى على بعد. فى هذا المجال، استخدام المياه هو المناسب عادة. براميل المياه، الصفائح، الجراكن، التربة الرطبة.. الخ تستخدم لهذا الغرض.

بيئة الصوبة والتحكم: Green House Environment and Control

مخطط للتفاعل البيئى للصوبة موضح فى الشكل رقم (21) زجاج الصوبة يعمل كمرشح إشعاع انتقائى بمعنى أن الإشعاع الشمسى يمكن أن يمر خلاله ويدخل إلى الصوبة ولكن الإشعاع الحرارى المنبعث بواسطة الأغراض خلال الصوبة لا يمكنه الخروج. هذه الظاهرة ينتج عنها احتجاز الإشعاع خلال الصوبة كما يلاحظ ارتفاع درجة الحرارة، هذا التأثير تحديداً يسمى تأثير الصوبة وهو المبدأ الأساسى لكل مجمعات الحرارة الشمسية، مضاعفة التزجيج يقلل من فقد الحرارة من الصوبة، ولكنه يقلل كذلك من كمية الضوء الداخلى إلى الصوبة، كل طبقة إضافية من الزجاج سوف تقلل من انتقال الضوء بحوالى 13%. من الواضح أنه يوجد أقصى سمك لتعدد الطبقات والذى يعتمد على المادة المستخدمة وشدة المناخ وتكلفة الإنشاء.

الحائط المقفل لمنشأ الصوبة يعيق كذلك خلط هواء الصوبة مع الهواء العادى، بذا يقلل التبادل الحرارى بالحمل الحرارى هذا له تأثير إضافى حيث يزيد من احتجاز الحرارة الشمسية خلال الصوبة. هذا هو الغلاف المغلق للصوبة والذى يسمح بزيادة ثانى أكسيد الكربون فى هواء الصوبة.

الأبحاث المبكرة لتقنيات الصوبة قد تمت فى مناطق ذات مناخ بارد. لذلك، كان الانتباه موجهاً فى معظمه لتوفير متطلبات تدفئة الصوبة، التأثيرات الحالية فى تبريد الصوبة هى موجهة فى تطوير نظم التبريد الاقتصادية للتبريد بالتبخير. لقد لوحظ أن الصوبات قد أظهرت استخدام مؤثر للمياه لإنتاج المحاصيل، أى أن كمية المياه المطلوبة لإنتاج كمية معينة من الغذاء أقل من تلك اللازمة للزراعة فى الحقل العادى المفتوح.

التأثير يمكن شرحه بالطريقة الآتية:

زراعات الصوبة تنتج (ترتفع) والرطوبة تنتشر من النبات إلى هواء الصوبة مع الاستمرار في رفع رطوبة هواء الصوبة ذلك بسبب محدودية خلطه مع الهواء الخارجى. الرطوبة المرتفعة لهواء الصوبة بالتالى تقلل من النتج ذلك أن عملية النتج هى دلالة مباشرة للتدرج فى الرطوبة بين خلايا النبات والهواء. الفقد فى خفض الرطوبة يسبب إعادة النتج لم يتم ملاحظته أنه يؤثر بالسلب على نمو نبات الصوبة. الرطوبة فى الصوبة هى رغم ذلك غير مسموح لها بالارتفاع فوق حدود معينة لأحكام التأثيرات الغير مرغوبة للكائنات الدقيقة الممرضة. من الواضح، أن فراغ الصوبة يتمتع بعملية أحكام المناخ بسبب الغلاف، تأثير الصوبة، انخفاض تدوير الهواء إلى الحد حتى أن الإنتاج التجارى للغذاء يمكن تحت حالات المناخ السيئة.

الأحكام البيئى للصوبة يلزم توفره، حيث أحكام حالة ما قد يؤثر على المعيار البيئى الآخر، لذلك يكون المطلوب تطوير حزمة من الأحكام التكاملية، المعايير المختلفة لبيئة هواء الصوبة مع بيان بعمليات التحكم موضحة فى الجدول التالى:

جدول المعايير البيئية وأداء التحكم

المعايير البيئية	أداء التحكم	المعيار المؤثر على نمو النبات
الإشعاع الشمسى	تهوية	إعاقة الضوء
درجة حرارة البصيلة الجافة	للتدفئة/ التبريد	درجة حرارة النبات
درجة حرارة البصيلة الرطبة	رش الماء	تدرج الرطوبة
تركيز CO ₂	تدوير الهواء وإثراؤه	تدرج CO ₂

بيت الصوبة مثل أى مبنى أو منشأ يفقد معظم حرارته بالتوصيل خلال الغلاف، من تسربات الهواء خلال الشقوق بالحمل الحرارى. لذلك، فإن غلق النوافذ والأبواب يجب أن يكون محكماً وأفضل من المتبع فى المباني والمنشآت العادية. ليس مثل المباني التقليدية، فإن الصوبة تميل لتكون أكثر عرضة وأن معدلات تسرب ودخول الهواء يمكن أن يكون أعلا كثيراً فى حالات ضغوط الرياح. المعدلات العالية لتسرب الهواء تسبب حركة للهواء غير مطلوبة خلال الصوبة، الذى يزيد من تبخر مياه التربة والذى بالتالى يمكن أن يؤدي إلى التكثف على الزجاج، مع زيادة تالية فى الفقد الحرارى وخفض فى انتقال الضوء، العزل الجيد المؤثر للصوبة له أهمية بالغة نحو التحكم فى بيئة الصوبة.

بعض من الطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية

يجب توفير عزل الطرف الأرضي في أي صوبة والذي يعمل على المحافظة على الطاقة. الصوب الموضوعة على كمرات الخرسانة بدون عزل الطرف تفقد حرارة تزيد عن تلك الموضوعة مباشرة على التربة.

الفقد بالإشعاع فقط عادة ليس عاملاً هاماً، عدا في حالة استخدام البولي إيثيلين بدلاً من الزجاج، الطريقة الواضحة لخفض الفقد الحراري هي بقطع كمية التزجيج (الصقل)، ولكن الطريقة العملية هي بتطوير طرق بناء الزجاج وحجز الحرارة. في المناخ المعتدل يجب استخدام التزجيج المزدوج، ذلك لأن هذا ينصف الفقد الحراري خلال التزجيج. عند تصميم الصوبة الشمسية، حيث تم خفض الفقد الحراري إلى أدنى قيمة اقتصادية، فإن تنظيم الرطوبة دلالة هامة بتدفئة وتهوية النظم. فمثلاً، إذا كانت درجة الحرارة الداخلية والرطوبة النسبية ستظل عند 19°C و 75% مع الظروف الخارجية عند 10°C ، 90% فإنه سوف يكون هناك إزالة للرطوبة مع كل متر مكعب من الهواء المستهلك. مع انخفاض مستوى الرطوبة في الجو، فإن الإزالة الكاملة للرطوبة سوف يكون لها تأثير سيئ على حالة التربة عدا في حالة إضافة الرطوبة لتوفير حالة الاستقرار. في وقت الليل درجة حرارة الجو عادة تقل والرطوبة النسبية الداخلية قد تزداد إلى 90% . تكثيف بخار الماء الزائد من المحتمل عندئذ أن يحدث على كل الأسطح الباردة، مثل الزجاج وقوائم التحميل الإنشائية الغير معزولة. نقط التكثيف على النباتات والتربة يجب تجنبها لما تسببه من تلف. قنوات صرف التكثيف يجب تضمينها ضمن التصميم الإنشائي للصوبة.

طرق تدفئة الصوبة المستخدمة عامة هي:

1- تدوير البخار أو الماء الساخن.

2- تدفئة الفراغ بالهواء الساخن.

الطريقة الأولى قد تكون أكثر تكلفة للإنشاء مقارنة بالثانية، ولكن الثانية توفر ميزة إضافية لتوزيع الهواء بطريقة أفضل كما في حالة خلال الأنابيب المثقبة.

المعادلة التقريبية الآتية يمكن استخدامها لتقييم متطلبات التدفئة المحتملة: كمية الحرارة المطلوبة لاستمرار درجة حرارة معينة خلال منشأ الصوبة مقدراً بالكيلو كالورى/ الساعة

$$= 6.8 \times \text{مساحة الحائط الزجاجي واسقف (متر مربع)} \times \text{الارتفاع في درجة الحرارة المطلوب أعلا من درجة الحرارة الخارجية } 5^{\circ}\text{C} .$$

خلال الصيف فإن تراكم الحرارة يمكن أن يكون كبيراً إلى حد أن فتح النوافذ والأبواب فقط لا يمكنه خفض درجة الحرارة الداخلية بما يكفي، عدا في حالة وجود

وسائل ميكانيكية مساعدة للتهوية، النمو يمكن أن يزيل حوائط التزجيج لطرد الحرارة الزائدة. الحرارة الزائدة وبالتالي درجات حرارة الهواء المرتفعة لها تأثير سيئ على المحصول ونوعية الحاصلات. ارتفاع درجة حرارة الصوبة أعلا من المستوى المطلوب يجب أن يكون محدودا بحوالى 4م هذا قد يتطلب التهوية والتي تتم باستخدام المراوح.

لأداء عملية التمثيل الضوئي الجيدة فإن تركيز CO_2 المناسب في الصوبة يعتبر أساسى. إثراء مستويات CO_2 قد يزيد إنتاج محصول الطماطم كثيراً، ولكن مهما كان المحصول فإن الإثراء يعتبر ضرورى خلال ساعات ضوء النهار في الشتاء عندما تكون معدلات التهوية عند أدناها. الحالة الثانية لتركيز CO_2 يجب أن تكون حوالى 300 جزء في المليون، ولكن نمو النباتات سوف يقلل سريعاً من هذا المستوى والذي يمكن تحقيقه بالتحكم عند حوالى 1000 جزء في المليون، الطريقة المحببة لإضافة CO_2 هي بحرق البارافين ذى المحتوى المنخفض من الكبريت.

التبريد بالتبخير (Evaporative cooling)

طريقة التبخير لتبريد الصوبة استخدمت لسنين عديدة في الأيام الحارة عندما يكون هناك فرق كبير ما بين درجات حرارة البصيلة الرطبة والبصيلة الجافة. نظراً لأن درجة حرارة البصيلة الرطبة (وليس الرطوبة النسبية) تحدد درجة الحرارة التى عندها يمكن تبريد الهواء فقط بتبخير الماء، فإن المعلومات عن بيانات الأرصاد الجوية متضمنة متوسط قراءات البصيلة الرطبة (Wet Bulb) يعتبر أساسى. نظام الوسادة المبتلة "Wetted Pad" للتبريد بالتبخير يستخدم على نطاق واسع، ولهذا تستخدم مادة شعيرات فى شكل خلايا السيليلوز الخاصة المخلدة ذات التحميل الذاتى والتى تظل مبللة بتدوير الماء خلالها، وبذا يتم تبريد الهواء القادم إلى مقدار 1.5 إلى 2°م لدرجة حرارة البصيلة المبتلة للهواء الخارجى. نظام الوسادة يوزع كذلك الهواء بانتظام، طبقاً لمقاومتها، تتجنب اضطراب تدفق الهواء وتسلم التدفق المنتظم للهواء البارد فى الصوبة. وحدات نظام الوسادة يتم وضعه على الحائط الجانبى للصوبة الذى يواجه الرياح السائدة خلال الصيف، عادة ممتد إلى حوالى نصف طول الصوبة. فى حالة الإنشاءات الطويلة جداً، تكون الوسادة موضوعة مركزياً وعند مستوى منخفض نسبياً بحوالى 0.5متر تحت الركبة لارتفاع الحائط، تحسين تقنية مضخة الحرارة قد يحسن من وسائل استخلاص الحرارة والتبريد مع الظاهرة المرغوبة بالنسبة لإزالة الرطوبة.

المواد: (Materials)

الخشب، الألومنيوم، الصلب تلك هي المواد المحيية بالنسبة لإطار الصوبة، الإطارات الخشبية المعالجة بالمواد الحافظة يمكن أن تستمر لمدة 5 - 10 سنوات. الزجاج هو أكبر مادة للترجيح والصلب حتى وجود طبقات البلاستيك النقية الرائقة والألواح منذ حوالي 30 عام صقل الزجاج يتطلب استثمارات أولية عالية وفرص التسرب تزيد مقارنة باستخدام البلاستيك. كذلك، التسرب في البيوت الزجاجية يزيد مقارنة بالبيوت من البلاستيك. لذلك، فإن التحكم البيئي في بيوت الصوبة من البلاستيك ذو تأثير أكبر، مادة البلاستيك العادية المستخدمة في الصوبة تكون مقاومة تماماً للأشعة فوق البنفسجية، وهي طبقة البولي إيثيلين (مقياس 500-1000). تلك الطبقات يتم استبدالها خلال عام أو عامين طبقاً للمناخ المحلي. الإطارات النقية من البلاستيك مثل الصوف الزجاجي المعرج يمكن استخدامه في ترجيح الصوبة لمدة 20 عام. إن أهمية ترشيد الطاقة في الصوبة يشجع التطوير لمواد بلاستيك جديدة.

الملاحظات الختامية:

توجد الصوب في جميع أنواع حالات المناخ. الآن الصين هي الرائدة بما لها من أكبر مساحة التي تزيد عن 120.000 هكتار تحت الزراعة المغطاة، اليابان الثانية بما لديها 80000 هكتار - هولندا وإسرائيل هما المصدرين لمنتجات الصوبة من الباحة الاقتصادية فإن العائد لوحدة مساحة الأرض أعلا عدة مرات في حالة الزراعة بالصوبات مقارنة، بالزراعة التقليدية، إنتاج الصوبة غير مرتبط بالمتغيرات المناخية والإنتاجية العالية للصوبة يمكن اعتبارها مصانع للغذاء.



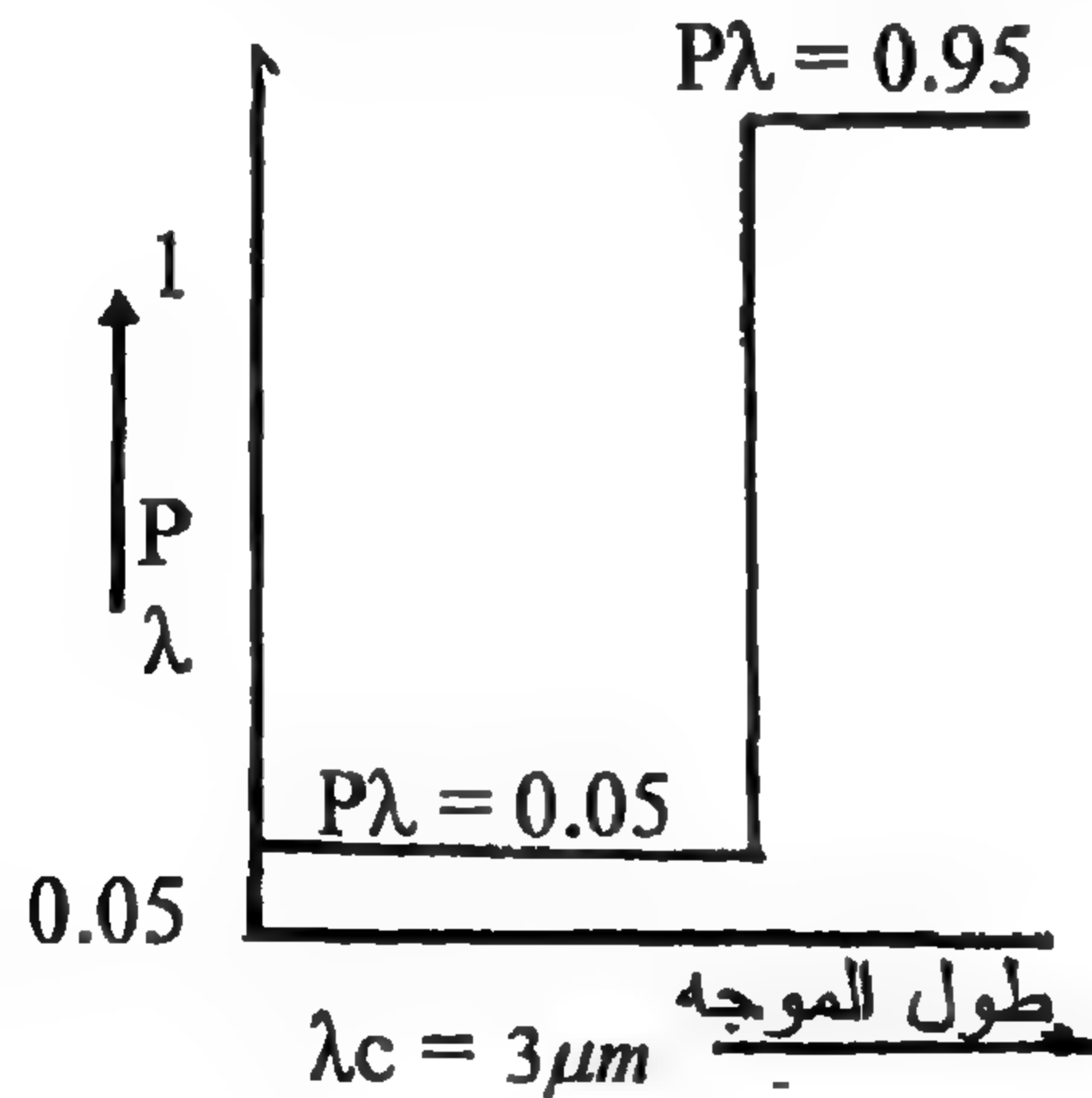
الفصل السابع عشر

الأسطح الانتقائية لتحويل
الطاقة

**Selective Surfaces for
solar Energy Conversion**

الطريقة السهلة والأكثر تأثيراً لاستخدام الطاقة الشمسية هي خلال مجمعات اللوح المستوي. مجمع اللوح المستوي يتكون من قاعدة مستوية من أساس معدني. الجزء الأكثر أهمية فيه هو الطلاء متعدد الطبقات والذي يسمى التغطية الانتقائية (Selective Coating) تتصف التغطية الانتقائية بامتصاصها العالي في المجال المرئي (Visible Region) أي من 0.4 ميكرومتر ممتداً إلى المنطقة حتى 1.5 ميكرومتر والانعكاس العالي من 1.5 إلى 25 ميكرومتر من طبق الشمس. عند اختبار ميزان الطاقة للمجمع الشمسي أظهر الرغبة في الحصول على أسطح التي تجمع بين الامتصاص العالي للإشعاع الشمسي والانبعاث الضعيف للأشعة طويلة الموجه، هذا التجميع للخواص يمكن الحصول عليه ذلك لوجود القليل من التطابق في مجالات طول الموجه بين الطاقة الشمسية القادمة (خارج الغلاف الجوي للأرض 98% يكون عند طول موجة أقل من 3 مليمكرون) والإشعاع طويل الموجه المنبعث (أقل من 1% يكون عند أطول موجة أقل من 3 مليمكرون للسطح الأسود عند 400° كلفن).

مفهوم السطح الانتقائي موضح باعتبار الانعكاس أحادي اللون (Monochromatic Reflectance) كما هو موضح في الشكل رقم (26).



شكل رقم (17/1)

هذا السطح المثالي يسمى السطح شبه الرمادي حيث يمكن اعتباره رمادي في الطيف الشمسي (أي عند أطوال موجة أقل من حوالي 3 ميكرومتر) وكذلك رمادي، ولكن بخواص مختلفة، في الطيف تحت الحمراء (أي عند أطوال موجة أكبر من حوالي 3 ميكرومتر). بالنسبة لهذا السطح المثالي، فإن الانعكاسية للون الواحد (P_λ) تكون منخفضة جداً دون أطوال الموجه الحرجة (λ_c) ومرتفعة جداً عند أطوال موجة أكبر

من (λ_c) لذلك، فإن الامتصاص للطاقة الشمسية سيكون قريباً جداً من $(1 - P\lambda)$ بالنسبة λ أصغر من 3 ميكرومتر. قيمة الانبعاثية سوف تعتمد على درجة حرارة السطح، أي مقدار الإشعاع المنبعث عند أطوال موجة أكبر من (λ_c) ، ومقدار أطوال الموجه أقل من (λ_2) . بالنسبة للعمل العادي لمجمعات السطح المستوى، فإن درجة الحرارة سوف تكون منخفضة بما يكفي بحيث أساساً أن كل الطاقة سوف تنبعث عند أطوال موجه أكبر من 3 ميكرومتر. نظام الماص الانتقائي سيكون أسود دون بداية طول الموجه والانبعاث الضعيف فوق طول الموجه هذا.

مواد العاكس الشمسي (Solar Reflector Materials)

العواكس لها العديد من الاستخدامات في التجميع الشمسي. يمكن أن تستخدم لانعكاس الإشعاع الشمسي الساقط إلى المستقبل المطلوب، أو يمكن أن تستخدم لعكس (أو لا تبعث) جزء معين من الطيف. مثال للاستخدام الأخير هو الانعكاسية العالية تحت الحمراء المطلوبة تحت طلاءات امتصاص انتقائية على المجمعات الضوئية الحرارية (Photothermal). في الاستخدامات غير بؤرية (غير مركزة) فإن الانعكاس الكلي هو الاعتبار شديد الأهمية، ولكن في الاستخدامات البؤرية (المركزة) حيث يفقد الإشعاع المنتشر، فإن أسطح العاكس سوف توفر انعكاس صقيل أو مرآوي (Specular). قوة الصقل أو المرآوية للسطح تتوقف على تقنية التصنيع. الانعكاس المرآوي هو أساس قياس لكثافة الشعاع المنعكس كدلالة للفتحة الزاوية Angular Aperature. معظم المواد توصف بالتوزيع العمودي والذي بالتالي يوصف بمعيارين وهما كثافة الشعاع وعرض الشعاع. نظراً لأن هذه المعايير تتوقف على طول الموجه، فإنه يجب استخدام متوسط الكثافة الشمسية ومتوسط عرض الشعاع الشمسي، عندئذ، دلالة الانتشار للعاكس هي لفات لشكل مدخل الشمس مع الانتشار العمودي للعاكس.

سطح الألومنيوم يمكن أن يكون عاكس جيد بالدفلة بين اسطوانات دحرجة عالية التلميع مثل هذه المادة هي (Alzak) التي لها سطح عالي الانعكاس المدرفل المحمي بطبقة أنوده (25 ميكرومتر) هذه المادة لها ثبات بيئي جيد. عموماً طبقات المعدن بالتبخير على الأسطح الناعمة لها انعكاسية أعلا من المواد التي يتم تلميعها الزجاج أو السيراميك الزجاجي يشكل أساس مرآوي ممتاز. الزجاج الناعم المستوى يتكون بسهولة بواسطة عملية طفو الزجاج ويمكن تكوين العديد من الأشكال بالتشكيل بالقولية أو بالبتق (Molding or Extraction). تلك الأجزاء تكون عندئذ قوية ويجب تغطيتها بالأنوع المرحلي. إذا تم تغطية الزجاج على الخلف، فإن المرآة تسمى السطح الثاني، ومرآة

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

السطح الخلفي، إذا كان السطح الأمامي مغطى فإن المرآة تسمى مرآة السطح الأمامي والتغطية هي عادة محمية بطبقة رقيقة من مادة عازلة مثل MqF , Al_2O_2 , SiO_2 في كل المرايا السطح العاكس يجب حمايته من التحلل. هذه هي ميزة لمرآة السطح الخلفي، حيث الزجاج أو البوليمر النقي يمكن أن يستخدم لحماية السطح العاكس.

أسطح الألومنيوم المصقولة (Polished) تتصف عادة بكمية كبيرة لزاوية الانتشار الكبيرة والتي تقلل كثافة الشعاع الطيفي هذا التشتت ناتج عن الخدوش المتبقية، الحفر، أو علامات التلميع على السطح العاكس، وبالإضافة فإن شكل الشعاع المنعكس يمكن أن يكون موحد الخواص في جميع النواحي (Isotropic) بسبب علامات التلميع الممتدة في اتجاه واحد. سطح الألومنيوم عادة يتم حمايته من التلف بفعل العوامل الجوية وذلك بعمل طبقة أكسيد بالأنودة (Anodize). أفضل ألومنيوم تجاري عاكس يتم تسويقه تحت الاسم التجاري (Alzak). المادة الرقيقة يتم تلميعها إلكتروليكيًا ثم تغطيتها بطبقة رقيقة حوالى واحد ميكرومتر، من أكسيد الألومنيوم بالأنودة (Al_2O_3). الطبقة الرقيقة لا تقل كثرة الانعكاس الشمسي، ولكنها تدخل بعض طبقات الامتصاص الضعيفة في تحت الحمراء.

خواص الانعكاس الطبقي لطبقات البلاستيك المعدنية تعتمد على مظهر (Texttrue) السطح المعدن، الخواص البصرية لطبقة البلاستيك، عملية التطابق وخشونة السطح للأساس (Substrate). قوام سطح البلاستيك يمكن أن يتراوح من ذلك للسطح الناعم إلى المسبب للتشتت. من وجهة النظر البيئي، البلاستيك معرض للاحتكاك من حبيبات التربة التي تهب ومن النظافة الميكانيكية. بالإضافة إلى أن ثبات فوق للبنفسجية، تسرب الرطوبة، الشحن الاستاتيكي، وعدم التطابق، قد تكون تأثيرات هامة نحو التحلل. المرايا المحدبة من طبقات البلاستيك تمثل صعوبة، الحصول على مرايا مقعرة مع الاحتفاظ بنعومة السطح للطبقات المستوية يكون صعباً، مراكز المرايا لاستخدامات الطاقة الشمسية ثم عملها باستخدام ضغط الهواء بين طبقتين من البلاستيك.

طبقاً لمعايير الأداء تلك، فإن الأكليريك الطبقي والتيفلون المنخفض (Aluminated acrylic silvered Teflon) هي مواد عاكسة مناسبة.

الأسطح الانتقائية والغير انتقائية: Selective and Non. Selective surfaces

عموماً السطح الانتقائي هو المادة أو الطلاء الذي يظهر انتقاء بصري، أي الخواص البصرية التي تتغير كثيراً من منطقة طيف إلى أخرى. الخواص البصرية ذات الاهتمام العادي هي الانعكاسية، الانتقالية، الامتصاصية، الانبعاثية، معامل

الانكسار ومعامل الحيود (Extinction coefficient, Index of Refraction, Remittance, Absorptions, Transmittance, Reflectance).

طيف الإشعاع الشمسي وطيف التسخين إلى درجة حرارة متوسطة لا يتطابقا بأى كمية قابلة للتطبيق. من هذا فإنه إذا كانت المواد أو الأسطح يمكن أن توجد أو أن تخلق بحيث أنها تختلف في الامتصاص، الانعكاس أو خواص الانتقالية بين أطوال الموجات أكبر من 2 ميكرومتر (2 Mm) أى في المجال الحرارى (Thermal range)، وطول الموجه أقل من 2 ميكرومتر، أى في المجال الشمسي (Solar Range)، عندئذ فإنه يكون من الممكن احتجاز الطاقة الشمسية وجمعها بالامتصاص، ولكن لمنع أو خفض فقد الإشعاع الحرارى. مثل تلك المواد أو الأسطح تسمى الانتقائية (Selective).

تغطية السطح الانتقائي تقوم بدور هام عندما تكون درجات الحرارة المطلوبة مرتفعة لأن الفقد الإشعاعي يصبح كبيراً عند درجات الحرارة هذه. الهدف لذلك هو لتقليل الانبعاثية المؤثرة (Effective Emissivity) لمجموع المستقبل - ا- لغلaf (Receiver - Envelope).

كمية الإشعاع الشمسي الممتص بواسطة المجمع تتناسب مع امتصاصية سطح الجامع إلى الإشعاع الشمسي نسبة إلى تلك لجسم أسود تماماً. الفقد من المجمع بسبب إعادة الإشعاع يتناسب مع الانبعاثية لسطح المجمع خلال أطوال الموجه التى تقابل درجة حرارة سطح المجمع. الامتصاصية والانبعاثية عند طول موجة معين يكونا متساويين، ولكن، عند أطوال موجة مختلفة، فإنه يمكن أن يتغيرا من قريباً من الصفر إلى قريباً من الواحد. نظراً لأن 96% من الإشعاع الشمسي يكون مركزاً في مجالات طول موجة أقل من 2 ميكرومتر، وأن 99% من إعادة الإشعاعات من سطح المجموع (الذى يعمل عند أقل من 400° كيلفن) يكون فى أطوال موجهة تزيد عن 2.5 ميكرومتر، وانبعاث منخفض للأشعة طويلة الموجه (أكثر من 2.5 ميكرومتر). رغم أنه تم اختيار عدد كبير من معالجات الأسطح الانتقائية التجريبية إلا أن القليل هو الذى استمر في الاختبارات المعملية.

جدول (1/17) خواص التغطية الانتقائية:

الانبعاثية	الامتصاصية	النوع	التغطية
			أ- التغطية الانتقائية:
0.1	0.96	الترسيب الكهربى	الكروم الأسود
0.1	0.9	الترسيب الكهربى	النيكل الأسود

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

0.35-0.07	0.92-0.87	أكسيد النحاس	النحاس الأسود
0.07	0.94	أكسيد الألومنيوم	أنودة سوداء
0.1	0.96	كروم أسود فوق نحاس	لفيفة شمسية (Solar foil)
0.1	0.96	كروم أسود فوق نحاس	شريط شمسي (Solar strip)
			ب- غير انتقائية:
0.9	0.97	طلاء اليورثين	Enersorb
0.89	0.97	طلاء	Nextel
0.85	0.935	طلاء البورسين	XS - 111

عدد كبير من الطلاءات الغير انتقائية متاح وله استخدامات عديدة كطلاءات لمجمع اللوح المستوي. هذه هي أساسا الطلاءات العضوية مثل الطلاءات السوداء المستوية (Flat Black paints). معظم تلك الطلاءات له امتصاصية تزيد عن 0.95 وانبعائية من 0.9 إلى 0.95. رغم أن تلك الانبعائية مرتفعة فإن استخدام تلك الطلاءات يمكن تبريره اقتصادياً في بعض الاستخدامات حيث درجات الحرارة المرتفعة للمجمع تكون غير مطلوبة، كما في حالة نظم المياه الساخنة أو سخانات حمامات السباحة. الجدول السابق يبين بيان الخواص لبعض الطلاءات الانتقائية والغير انتقائية.

معظم الأسطح التي هي ماص جيد للإشعاع الشمسي هي كذلك مشعات جيدة للحرارة. كمثال، إذا كان سطح غير انتقائي له قوة امتصاص 0.95 للإشعاع الشمسي، فإنه سوف يشع حرارة بمعدل حوالي 95% لذلك الجسم الأسود المشع. الأسطح الانتقائية قادرة على امتصاص الإشعاع الشمسي بكفاءة ولكن في نفس الوقت تشع حرارة قليلة. معظم الأسطح الانتقائية تتكون من طبقة أكسيد معدني رقيقة على أساس معدني لامع. الطلاء من الأكسيد الأسود يكون بما يكفي للعمل كماص شمسي جيد، مع قوة امتصاص مرتفعة حتى 0.96، ولكن يكون أساساً شفاف للأشعة الحرارية طويلة الموجة المنبعثة بواسطة غرض عند درجة حرارة من عدة مئات من درجة الحرارة. حيث أن المعادن اللامعة لها انبعائية ضعيفة للإشعاع الحراري، أي أنها ضعيفة الإشعاع الحراري، ونظراً لأن طلاء الأكسيد الرقيق يكون شفافاً مثل هذا الإشعاع، فإن المجمع يكون مشع ضعيف للحرارة، نتيجة لذلك، فإن الفقد الإشعاعي من السطح الانتقائي يكون أقل كثيراً عنه من السطح التقليدي الغير انتقائي.

المعامل الكلي للفقد الحراري (U) عندئذ يقل في المجال الحار.

أنواع الأغشية (الطلاءات) الانتقائية: Types of selective coatings

الاستخدام الجيد للطاقة الشمسية يتطلب أسطح المجموع بالصفات الطبيعية والبصرية الآتية:

- 1- الامتصاص من خلال الطيف الشمسي (0.3 - 2.50 ميكرومتر) يجب أن يكون مرتفعاً.
- 2- الانبعاثية لأطوال موجة أكبر من 2.5 ميكرومتر يجب أن تكون منخفضة.
- 3- الانتقال ما بين منطقة الامتصاص العالي والانبعاث المنخفض يجب أن يكون حاداً ما أمكن.
- 4- الخواص البصرية والطبيعية للطلاء (الغطاء) يجب أن يظل ثابتاً تحت العمل لفترة طويلة وعند درجات الحرارة المرتفعة، وتكرار الدورة الحرارية، التعرض للهواء، الإشعاعات فوق البنفسجية..الخ.
- 5- الالتصاق بين طبقة الطلاء وسطح الأساس يجب أن يكون جيداً.
- 6- السهولة في استخدام الطلاء على المجمعات ذات الشكل والحجم المطلوب.
- 7- الطلاء يجب أن يكون اقتصادي.

الماص الشمسي المثالي يجب أن يكون ذلك الذي يمتص تماماً الطاقة الشمسية الساقطة (0.3 - 2.5 ميكرومتر) وبذا فله امتصاصية ($\alpha_s = 1$). في نفس الوقت فإنه لا يبعث إشعاعات في المجال للأشعة تحت الحمراء (تزيد عن 2% ميكرومتر) أي الانبعاثية ($\epsilon = 0$ صفر) عند درجة حرارة التشغيل. لذلك، في الطلاء العملي تتم محاولة لتعظيم قيمة (α_s) وخفض قيمة (ϵ)، بذا الحصول على نسبة (α_s إلى ϵ) عالية. باعتبار فقط مناطق الإشعاع الشمسية الطويلة، فإنه يوجد أربع أنواع رئيسية من الأسطح الانتقائية (المعتمدة) النوع الأول هو ذلك الذي سوف يمتص ويبعث الكثير من الإشعاع ما أمكن عن جميع أطوال الموجات، أي ذلك، الجسم الأسود، النوع الثاني، الذي يمتص أقصى إشعاع شمسي ويبعث القليل ما أمكن. النوع الثالث له امتصاص شمسي منخفض وانبعاث عالي. الطبقة الكثيفة من الطلاء الأسود المستوى هي مثال جيد للنوع الأول، الذي له انعكاس طيفي منخفض عند جميع أطوال الموجات. المثال الجيد للنوع الثاني هو الذي يتكون من طبقة رقيقة من النيكل الأسود على أساس معدني لامع. هذا النظام يمتص كثيراً في المجال الشمسي ولكن له انبعاثية ضعيفة. النوع الثالث، الذي عبارة عن الطلاء الأبيض الذي له انعكاسية عالية في المجال وانبعاثية عالية، رقيقة الألومنيوم (Al Foil) هي أفضل مثال للنوع الرابع رغم أن الإشعاع الشمسي يكون أعلا كثيراً عن الانبعاثية للأشعة تحت الحمراء.

الأسطح السوداء الانتقائية يتم الحصول عليها عموماً بواحد من الطرق الآتية:

- 1- الأسطح السوداء البصرية (الشفافة لأطوال الموجة أعلا من حوالى 2 - 3 ميكرومتر، التى تتكون من أساس معدنى لامع (انبعاثية منخفضة).
- 2- طبقة رقيقة من تراب المعدن مثل الذهب - الذى يمكن أن يعلق فى شبكة مناسبة - حيث حجم الحبيبات يكون بالنسبة للضوء المرئى كما لو كان أسوداً، ولكن عند أطوال موجة طويلة يكون عاكساً، يتم تكوينه على الأساس الأسود (Black substrate). غالباً فإن كل الأسطح الانتقائية المستخدمة حالياً هى من النوع الأول. تلك تشمل الأكاسيد المعدنية، طبقة السلفيد (Sulphide) المغطاة فقط على المعادن المختلفة مثل معقد النيكل - سلفيد الزنك (Ni/ Zns) المعروف بأسود النيكل وأسود الكروم (Cr/ Cr₂/ O₃)، أكسيد النحاس (CuO)، أكسيد الحديد (Fe₃ O₄) وأكسيد الكوبالت (CO₃ O₄). الانتقائية الشمسية يمكن الحصول عليها بطرق مختلفة التى يمكن تجميعها كالاتى:

- 1- مواد الانتقاء الشمسى الذاتية الأصلية (Intrinsic).
- 2- شبه الموصل الماص ومعدن الانعكاس لطبقات الترادف Tandem films.
- 3- الاقتناص البصرى بفجوة السطح أو التمييز الطبيعى لطول الموجة.
- 4- تأثيرات التداخل البصرى باستخدام الطبقات الرقيقة من المعادن والعوازل الكهربية.
- 5- الطبقة المركبة من طلاءات الحبيبات.
- 6- التأثير الكمي للحجم.
- 7- الأسطح الانتقالية الحقيقية عادة تستخدم الأداء المشترك لعدد اثنين أو ثلاث آليات للحصول على انتقائية عالية.

مواد الانتقاء الشمسى الذاتية الأصلية: **Intrinsic Solar Selective Materials**

يوجد هناك بعض المواد الطبيعية والمركبات التى ذات خواص بصرية قريباً من الشكل العام المطلوب للأسطح الانتقائية المثالية. مثال لمثل هذه المواد هى (HFC - Hafnium Carbide) الذى له قوة امتصاص شمسية تقريباً 0.65 وانبعاث حرارى حوالى 0.1 عند درجة حرارة الغرفة.

معظم الماصات الأصلية هى أكاسيد المعادن الانتقالية، الكبريتيدات، النيتروميت، أو الكبريتيدات، عموماً، يوجد نوعين من المواد التى تعتبر ماصات أصيلة. وهى المعادن الانتقالية وشبه الموصلات.

شبه الموصلات الماص ومعدن الانعكاس الترادفي

Absorbing Semiconductor and reflective metal tandem

إذا تمت تغطية معدن بشبه الموصل عندئذ فإن شبه الموصل سوف يمتص إشعاع شمسي عالي الطاقة، بينما في مجال الأشعة تحت الحمراء فإن الترادف (Tandem) سوف يعمل مثل المعدن ضعيف الانبعاث. الخاصية المعدنية لطبقة الترادف ترجع إلى الشفافية العالية لشبه الموصل في هذا المجال شبه الموصل يجب أن يكون له طرف امتصاص قريباً من أقصى قطع طيفي لطول الموجه ومعامل انعكاس منخفض.

أحد أبسط طبقة المص الوحيدة هي المعدن المؤكسد، حيث طبقة الأكسيد توفر الامتصاص الشمسي المطلوب. طريقتين أساسيتين تشمل أكسدة الأساس المعدني (Metal substrate) أو الطبقة المعدنية، أو التحويل الكيميائي للطبقة المعدنية. تلك التغطيات تعتمد على حقيقة أي أكاسيد كثيراً من المعادن هو ماصة جزئياً. في المنطقة الشمسية (Solar Region) يكون سمك طبقة التغطية في حدود أطوال الموجة للإشعاع الساقط وقد يوجد امتصاص إلى حد ما. عند أطوال موجة أعلا في مجال الأشعة تحت الحمراء فإن سمك الطبقة يصبح جزء صغير مختفياً من طول الموجة والانعكاس لمادة الأساس السفلية تكون غير متأثرة نسبياً.

عملية الأكسدة استخدمت لإنتاج أكسيد النحاس بالغمر والتسخين والترسيب الحراري لمحاليل النترات بالرّش، والأكسدة المباشرة. أكاسيد إضافية أخرى تكونت على طبقات الأساس السفلية المعدنية المختلفة تشمل خليط أكسيد الكوبالت، أكسيد النيكل، أكسيد المنجيز، أكسيد الأنثيمون، أكسيد التيتانيوم، أكسيد الزركونيوم، أكسيد الألومنيوم، معظم مواد التغطية من الأكاسيد لها انتقائية متوسطة ($\alpha = 0.6 - 0.85$)، ($\xi = 0.1 - 0.4$) عند درجة حرارة استخدام منخفضة.

الماصات الترادفية (Tandem - واحد خلف الآخر) يمكن عملها من المواد البللورية أو الغير بللورية في شكل مساحيق أو طبقات مستمرة. أحياناً وجود فواصل بين الحبيبات (Grain Boundries) أو عيوب خلال عدم الانتظام الذري يمكن أن يكون مفيداً في اشتقاق خواص الماص. طبقات الماص هذه يمكن أن تتكون بمختلف النشاط الكهروكيميائي وطرق الترسيب.

الحجز الضوئي بالفجوة السطحية أو التمييز الطبيعي لطول الموجة

Optical Trapping By surface Cavity or Physical Wavelength Discrimination

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

مواد تميز مقدمة الموجة تستخدم خشونة السطح الطبيعية أو أقطار الحبيبات لإنتاج تأثيرات بصرية مختلفة في مجال الأشعة المرئية وتحت الحمراء. من الممكن إنتاج السطح الذي يبدو خشن وماص للطاقة المرئية بينما يظهر شبه مرآة وباعث ضعيف في المجال تحت الحمراء. في حالة الحبيبات الصغيرة فإن تأثير (Mie) يعمل، وتنتشر الحبيبات بشدة عند أطوال موجات القصيرة، ضعيفة عند الطويلة. تقريباً الأسطح المثالية تم إنتاجها بترسيب البخار الكيماوى. ترسيب البخار الكيماوى هذا ينتج عنه بناء متفرغ شجيرى (Dendritic Structure) تلك الشجيرات تظهر فى شكل أبر قمعية أو شعرات. تلك الغابات الشجرية تمتص طاقة شمسية عالية من الإشعاعات بفعل هندسة مضاعفة الامتصاص والانعكاس.

تحضير الأسطح الانتقائية السوداء:

Preparation of selective black surfaces:

كما تم الإشارة إليه سابقاً، يوجد العديد من الأسطح الانتقائية السوداء التى يمكن استخدامها على المجمعات الشمسية، تقنيات التحضير لبعض تلك التغطيات أو الطلاءات الانتقائية السوداء المستخدمة كثيراً يتم مناقشتها باختصار كالتى:

1- النيكل الأسود (Black Nickel)

هذا الطلاء أو طبقة التغطية الذى يتم إنتاجه بالترسيب الكهربى، يستخدم تجارياً فى سخانات الماء الشمسى فى إسرائيل، المناخ الجاف فى إسرائيل يعتبر مثالى لاستخدامات مجمع النيكل الأسود، يتم أولاً عمل النظافة الجيدة والتجفيف لمعدن الأساس الذى سيتم تغطيته بالنيكل الأسود. الغطاء الأسود يتم الحصول عليه عندئذ بغمر معدن الأساس فى شكل الكاثود الذى فى حوض اليكترولى مائى محتوياً فى كل لتر الآتى:

- 75 جرام من كبريتات النيكل ($\text{Ni SO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)

- 29 جرام من كبريتات الزنك.

- 24 جرام من كبريتات الأمونيوم.

- أمونيوم ثيوسيانيت.

- حامض سيتريك.

الرقم الهيدروجينى (pH) للمحلول يجب أن يكون حوالى 4، ويستخدم الأنود من النيكل النقى، الحمام يعمل عند درجة حرارة 30°C ويتم التحليل الكهربى لمدة 2-4 دقيقة كثافة تيار 2 مللى أمبير/سم² ($2\text{mA}/\text{cm}^2$). الزمن المضبوط يتوقف على طبيعة معدن الأساس ودرجة حرارة الحمام.

يمكن الحصول على أفضل النتائج بترسيب أولا النيكل اللامع كطبقة غطاء على مادة الأساس. التغطية بالنيكل اللامع على الصلب المطاوع أو الصلب المجلفن يمكن ترسيبه باستخدام حمام محتوي الآتي فى اللتر.

- 175 جرام من كبريتات النيكل.
- 41 جرام من كلوريد النيكل.
- 40 جرام من حامض البوريك (Boric acid)

يتم غمر معدن الأساس فى شكل الكاثود فى حمام عند 50° - 55°م. الرقم الهيدروجيني للمحلول يجب أن يكون حوالى 4 وكثافة التيار فى المجال من 3.5 - 4.5 أمبير/سم² (3.5-4.5 A/Cm²). أفضل النتائج يتم الحصول عليها بتقنية الطبقتين. لذلك فإنه على الحديد "مجلفن" يتم التحليل الكهربى على 1 أمبير/سم² لمدة دقيقة واحدة يليه 1-2 دقيقة عند 2 ملى أمبير/سم².

تم حديثا تطوير عملية تحليل كهربى لترسيب طبقة تغطية عالية الالتصاق من النيكل الأسود على مادة الأساس من الحديد المجلفن التجارى المتاح. محلول التغطية يحتوى أساسا كبريتات النيكل، أسيتات الصوديوم، أمونيا مع عوامل تلميع واختزال (Brightening, Reducing, Agents). الرقم الهيدروجيني للمحلول يظل فى المجال من 9.5 إلى 10.5 ويتم المحافظة على درجة الحرارة ما بين 25 - 40°م، يسمح للحوض بالمكث لمدة 8 - 10 ساعة قبل الترسيب. مادة الأساس النظيفة من الحديد يتم غمرها فى محلول التغطية لمدة 1.5-2 دقيقة ثم غسيلها بالماء وتجفيفها فى الهواء. التغطية التى تنتج عندئذ لا تحتوى على أى كبريتيدات (Sulphides)، ولهذا، فإن التحلل البصرى ليس من المحتمل حدوثه. هذه التغطية لها قوة امتصاص 0.92 وانبعائيه (عند 100°م) 0.07 - 0.1 ولها مقاومة ممتازة للرطوبة ودرجة الحرارة العالية والتآكل.

أكسيد النحاس : (Copper Oxide)

التغطية بأكسيد النحاس الأسود على النحاس أو الألومنيوم يمكن الحصول عليها بسهولة وهى واسعة الانتشار فى صناعات المجمع الشمسى، خاصة فى أستراليا. لقد وصفت طريقة الحصول على أكسيد النحاس كطبقة تغطية على مادة الأساس من النحاس. تبدأ العمل بإزالة الأوساخ ثم إزالة طبقة الأكسيد للحصول على سطح نظيف لامع. بعد إزالة الشحومات فى حمام مغلى من منظف المعدن، يتم غسيله فى الماء النظيف وحكه باستخدام فرشاة سلك طرية لإزالة الجسيمات الدقيقة. يتم عندئذ الغمر

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

لأوقات مختلفة في حوض التسويد (Blackening) المحتوي على الآتي في اللتر من الماء، عند درجة حرارة محلول 140 - 140°م.

• 100 جرام من أيروكسيد الصوديوم (NaOH)

• 50 جرام من كلوريد الصوديوم (NaOCl₂)

التفاعلات الآتية المحتمل حدوثها خلال عملية الأكسدة هي



الغمر في حوض الأكسدة القلوي لمدة ثلاث دقائق يعطي امتصاص شمس $\alpha = 0.79$ ، انبعاث حراري $\varepsilon = 0.05$ ، بينما الغمر لمدة 10 دقائق يزيد α إلى 0.9، ε عند 65°م 0.2. طريقة استخدام أكسيد النحاس الأسود كسطح انتقائي على الأساس من الألومنيوم بالترسيب الكهربائي. في هذه العملية يتم أولاً تغطية الأساس من الألومنيوم بطبقة أكسيد بالأنودة (Anodizing). ولهذا الغرض في مادة الأساس من الألومنيوم يتم غمرها ككاثود في محلول مائي محتوي 3% بالحجم من حامض الفوسفوريك، حيث يكون الكربون هو الأنود. يتم تمرير تيار كهربائي مقداره 6 مللي أمبير/سم² (6mA/Cm²) لمدة 20 - 30 ثانية خلال المحلول، ثم يتم عكس التيار لمدة ثوان قليلة لإعطاء أنودة جزئية. بعد الشطف يتم غمر الأساس من الألومنيوم لمدة 15 دقيقة عند 80 - 95°م في محلول مائي محتوي على الآتي في اللتر من الماء:

• 25 جرام من نترات النحاس (Cu NO₃. 6H₂O)

• 3 جرام من حامض النيتريك المركز

• 15 جرام من برمنجنات البوتاسيوم.

بعد هذه المعالجة، يتم سحب هذا الأساس من الألومنيوم. تجفيفه، وتسخينه إلى حوالي 450°م للقليل من الساعات، حتى يصبح لون السطح أسود تماماً.

بعد ذلك تم تطوير تقنيات لإنتاج طبقة نحاس أسود إنتقائية على النحاس بواسطة (Potdar) وذلك بالأكسدة الأنودية في مجال قلوي. الحمام يتكون من 10% إيدروكسيد الصوديوم و 0.01% من محلول مولبدت الأمونيا. الكاثود المستخدم هو لوح من الصلب المقاوم وحيث يستخدم لوح النحاس كأنود. أفضل انتقائية تم إثباتها للحالات الآتية.

كثافة التيار = 9.0 مللي أمبير/سم² (9 mA/Cm²)

درجة حرارة الحمام 80°م

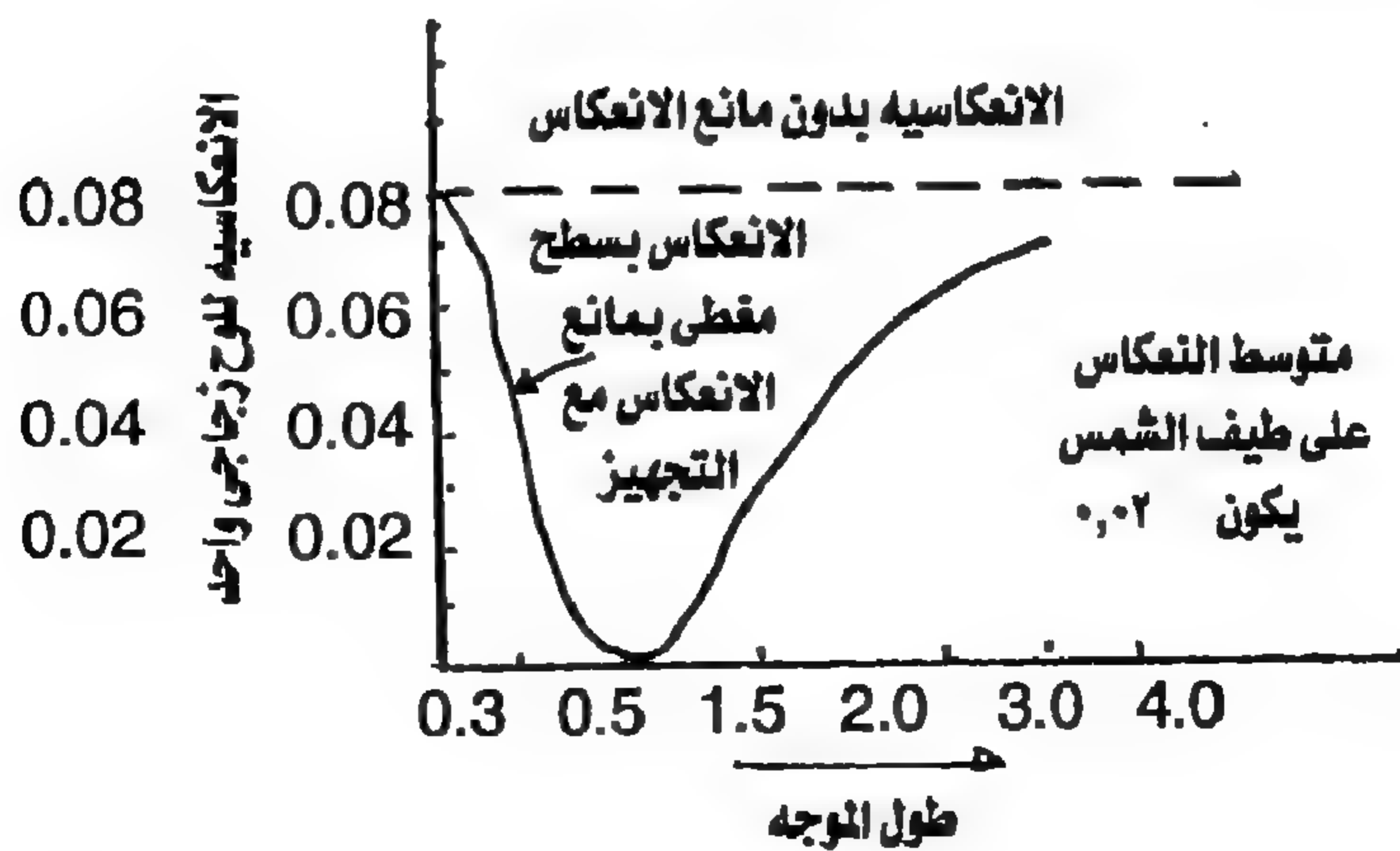
المسافة بين القطبين 7.5 سم

زمن الترسيب 60 ثانية

وقد وجد أن طبقة النحاس السوداء التي أعدت بالأكسدة الأنودية تكون جيدة الالتصاق ولها قطع (Cutoff) عند 3.5 متر، والإمتصاصية هي 0.95، الانبعاثية هي 0.02. الطبقة تتكون من أكسيد النحاسوز في شكل النحاسيك وأكسيد النحاسيك في شكل أحادي الميل (Monoclinic). حجم البلورة هو 100 - 200 أنجسترون ($100 - 200 \text{ \AA}$).

الكروم الأسود : (Black chrome)

السطح الانتقائي الأكثر نجاحاً وثباتاً الذي تم تطويره حالياً هو الذي يتم عمله بالطلاء الكهربى (Electroplating) بطبقة من النيكل اللامع على لوح الماص، ثم الترسيب الكهربى (Electro deposition) بطبقة رقيقة جداً من أكسيد الكروم (الكروم الأسود) على مادة الأساس من النيكل. التغطيات من أكسيد النيكل (النيكل الأسود) قد استخدمت كذلك، ولكنها أقل مقاومة للتلف بفعل الرطوبة. التغطية بأكسيد النحاس على النحاس اللامع والنيكل له خواص مشابهة ولكن يميل إلى التحلل عند درجات الحرارة المرتفعة. الكروم الأسود ($\text{Cr-Cr}_2\text{O}_3$) هو التغطية الاختيارية المستخدمة عادة للمجمعات الشمسية ذات اللوح المستوى بسبب خصائصها البصرية المطلوبة العالية (الامتصاصية = 0.96، الانبعاثية = 0.07)، قوة التحمل والمقاومة ضد التلف بفعل الرطوبة أو درجة الحرارة العالية والتكلفة المتوسطة. الشكل (2/17) يبين الانعكاسية بدلالة طول الموجة لمختلف أنواع الطلاءات الانتقائية.



شكل (2/17) طيف الانعكاس لعينة من الزجاج قبل وبعد تجهيز

السطح الحامض (Etching)

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

الكروم الأسود عادة يتم في حوض الطلاء الكهربى (Harshaw chromonlyx) حيث يتم الطلاء الكهربى عند حوالى 2000 أمبير/المتر لمربع (2000A/m²) لمدة حوالى دقيقة واحدة. الكروم الأسود يمكن طلاؤه كهربياً على الصلب، النحاس أو الألومنيوم باستخدام أجهزة الطلاء الكهربى التجارية المستخدمة لنفس الحوض، الكيماويات وطرق التشطيب الجمالى للكروم الأسود، المستخدم لأرجل المنضدة، مقابض الأبواب، أطراف الكراسى المعدنية وهكذا. ولكن، معايير العملية (كثافة التيار، تركيز الأيون، زمن الطلاء الكهربى) يجب إحكامه بحرص. حوض الطلاء الكهربى (Chromonyx) من شركة (Harshaw) للكيماويات هو أفضل كروم أسود عادى المستخدم للطلاءات الانتقائية الشمسية.

كذلك تم وصف طريقة أخرى (Muchlratzer et al., 1981) تجارية لصناعة الطلاء الكهربى للكروم. الألواح التى يتم تغطيتها ثم أولاً تنظيفها بالقلوى، وإزالة الشحوم فى حمام (Trichloroethane Ultrasonic)، وبخار ترائى كلورو إيثين ثم حامض الهيدروكلوريك المخفف. يلى ذلك الطلاء بالنيكل (Nickel - Plated) والشطف بواسطة الماء الخالى من الأيونات (Deionized)، ثم الطلاء الكهربى بالكروم الأسود، والشطف بالماء الخالى من الأيونات، يليه الشطف بالكحول والتجفيف فى الهواء. امتصاصية السطح المنتج ثم قياسها بواسطة (Spectrophotometer) والانبعائية ثم قياسها بمقارنة الطاقة الإشعاعية للسطح عند 100°م إلى تلك للجسم الأسود المشع المعايير والجدول الآتى يبين القيم المقاسة لكل من (ϵ, α) تستمر فى الزيادة مع زيادة السمك، ولكن (ϵ) تزداد كذلك بسرعة بعد $(\alpha = 0.97)$.

جدول (2/7) القيم المناسبة لكل من (α) ، (ϵ)

زمن الطلاء	α	ϵ عند 100°م
20	0.955	0.079
22	0.962	0.090
24	0.970	0.104
26	0.972	0.120
30	0.976	0.150
34	0.975	0.194
38	0.976	0.249

قيم كلا من (α) ، (ε) التي تم الحصول عليها هي كذلك دلالة لمكونات حوض الطلاء (خاصة لكروم سداسي التكافؤ، الكروم الثلاثي التكافؤ، وحامض الأسيتيك، وتركيز أيون الحديديك)، نوع التغطية بالنيكل وتحضير السطح للوح المطلوب تغطيته. كذلك فإن قيمة (ε) تزداد كذلك مع درجة حرارة السطح، ذلك بسبب الحيود للإشعاع الحراري الطيفي المنبعث نحو أطوال الموجة الأقصر.

طرق إنتاج طبقات التغطية (Production Methods of coatings)

الطبقات الانتقائية يمكن تنفيذها على مواد الأساس بالعديد من التقنيات، المنتجة لسطح ذو خواص بصريه، كيميائيه، طبيعية مختلفة قليلاً لكل مادة من المكونات. الطريقة المستخدمة في التحضير المعملية ليس من الضروري أن تكون الأفضل للإنتاج التالي التجاري على مستوى كبير. الطرق الحالية هي:

- 1- التبخير بالتفريغ.
- 2- التبادل الأيوني.
- 3- الرشاشة الكاثودية.
- 4- الترسيب الكيماوي بالبخر.
- 5- طريقة الأكسدة الكيماوية.
- 6- الغمر في الأحواض الكيماوية المناسبة.
- 7- الطلاء الكهربى.
- 8- طريقة الرش.
- 9- الطلاء وطرق أخرى.

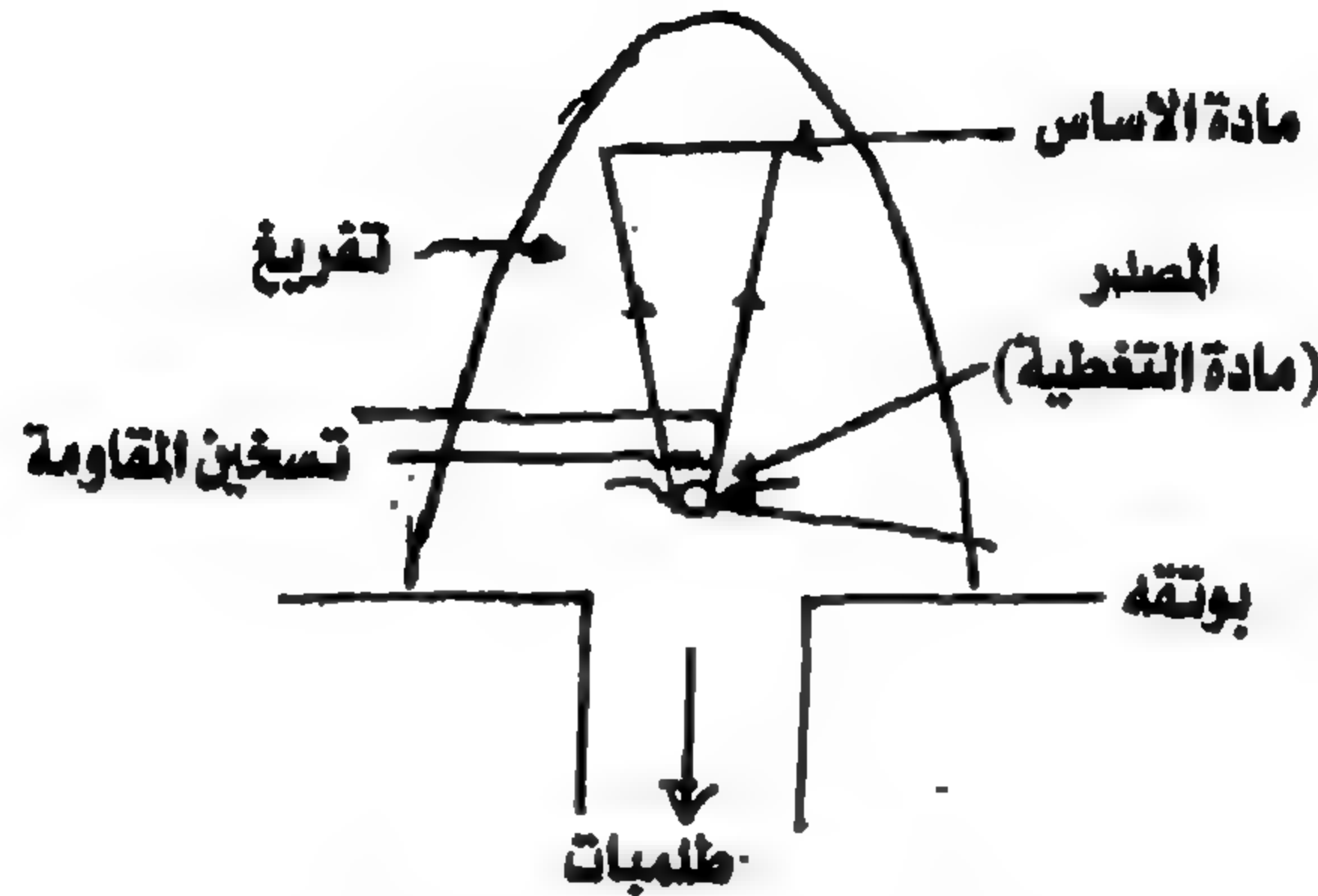
1- طريقة التبخير التفريغ: (Vacum Evaporation Method)

في هذه الطريقة، يتم خفض الضغط إلى حوالى 10^{-5} تور (Torr = وحدة ضغط جوى تعادل ضغط ملليمتر واحد من الزئبق = 133.3 بسكال) ومادة التغطية يتم تبخيرها بالتسخين بالمقاومة (Resistive Heating) أو بالتصادق بواسطة مدفعة الإليكترونات Electron Gun (وهى عبارة عن أنبوب أشعة الكاثود للون TV، الأشعة يتم تركيزها بالفحص بواسطة لفات مغناطيسية). المبخرات (Evaporant) تسير فى خط مستقيم فى شكل (3/17) بخار حتى التصادم مع مادة الأساس الباردة نسبياً أو الحائط. فمثلاً، الطبقات الشبه موصلة للسيليونيوم (Se)، (Cdte) يمكن ترسيبها على طبقة رقيقة عالية الانعكاسية (≈ 0.1 ميكرومتر) من الفضة (الموضوعة فوق شرائط

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

زجاج) بسمك طبقة الامتصاص يمكن أن يكون تقريباً 0.12 ميكرومتر. وجدت قوة الامتصاص لتكون 0.98.

عملية التبخير بالتفريغ موضحة في الشكل (3/17) حيث في هذه الحالة الصلب (مادة التغطية) تتصهر وتصبح بخار، تتحرك ذرات البخار من المصدر نحو الأساس في خط مستقيم. الذرات ترسب على الأساس بترسيب طبقة بطبقة. يستمر التفريغ في الوعاء، وهو يساعد في زيادة الممر الحر وبذا تجنب التصادم والانتشار. وهو يقلل تلوث الطبقة كذلك.



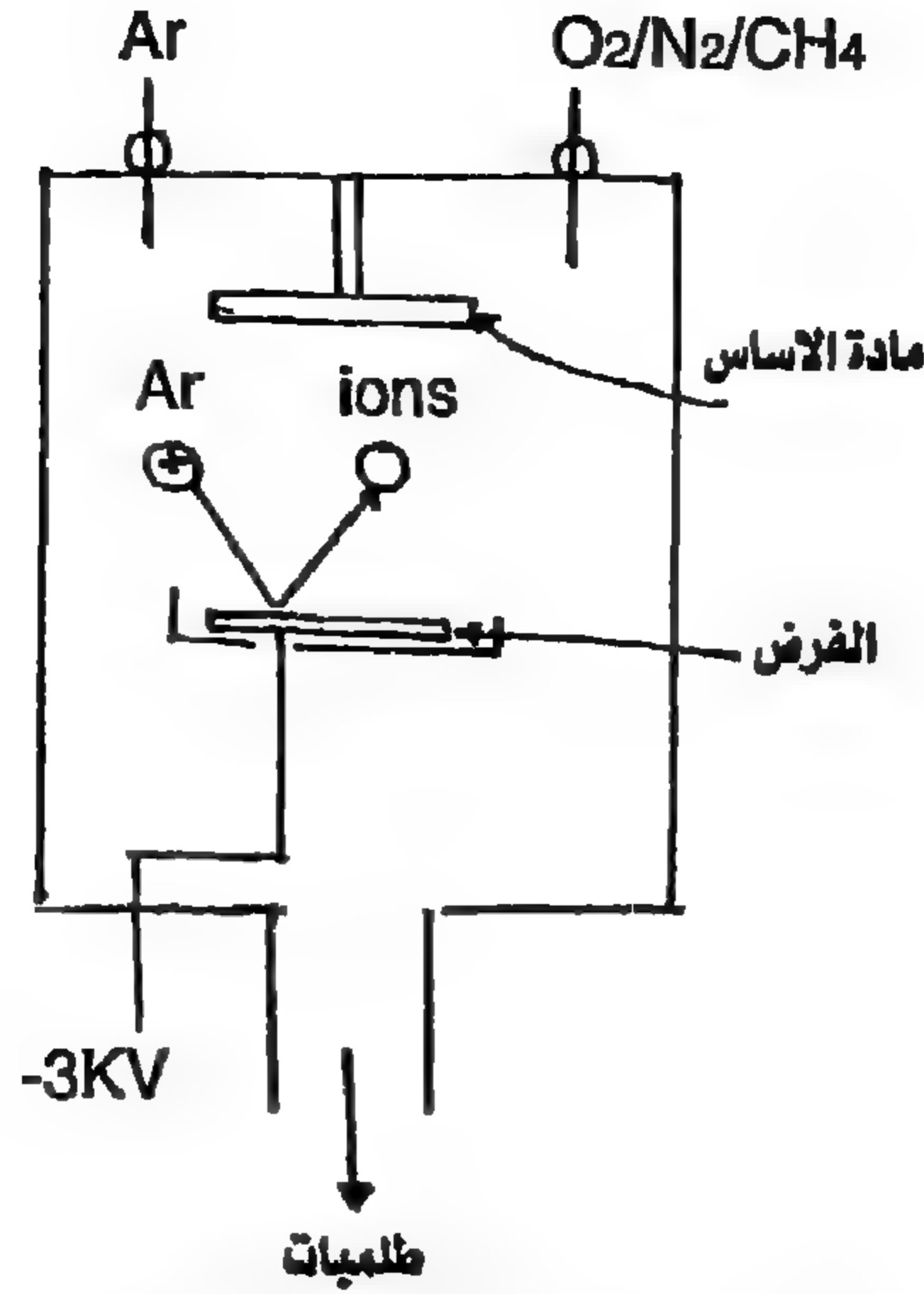
شكل (3/17) مخطط لمبخر التفريغ

2- طريقة التبادل الأيوني : (Ion Exchange Method)

التغطيات الانتقائية يتم تحضيرها بهذه الطريقة كذلك. فمثلاً، يمكن ترسيب مجموع ZnS - PbS - NiS على ألواح الأساسات من الألومنيوم أو النحاس. طبقة سلفيد النحاس يمكن كذلك أن ترسب على النحاس وكذلك على الألومنيوم من مواد الأساس. وجد أن الامتصاص هو في حدود 0.95، كما يمكن حسابه من طيف الانعكاس.

3- طريقة الرشاشة الكاثودية بالتفريغ: (Vacuum sputtering Method)

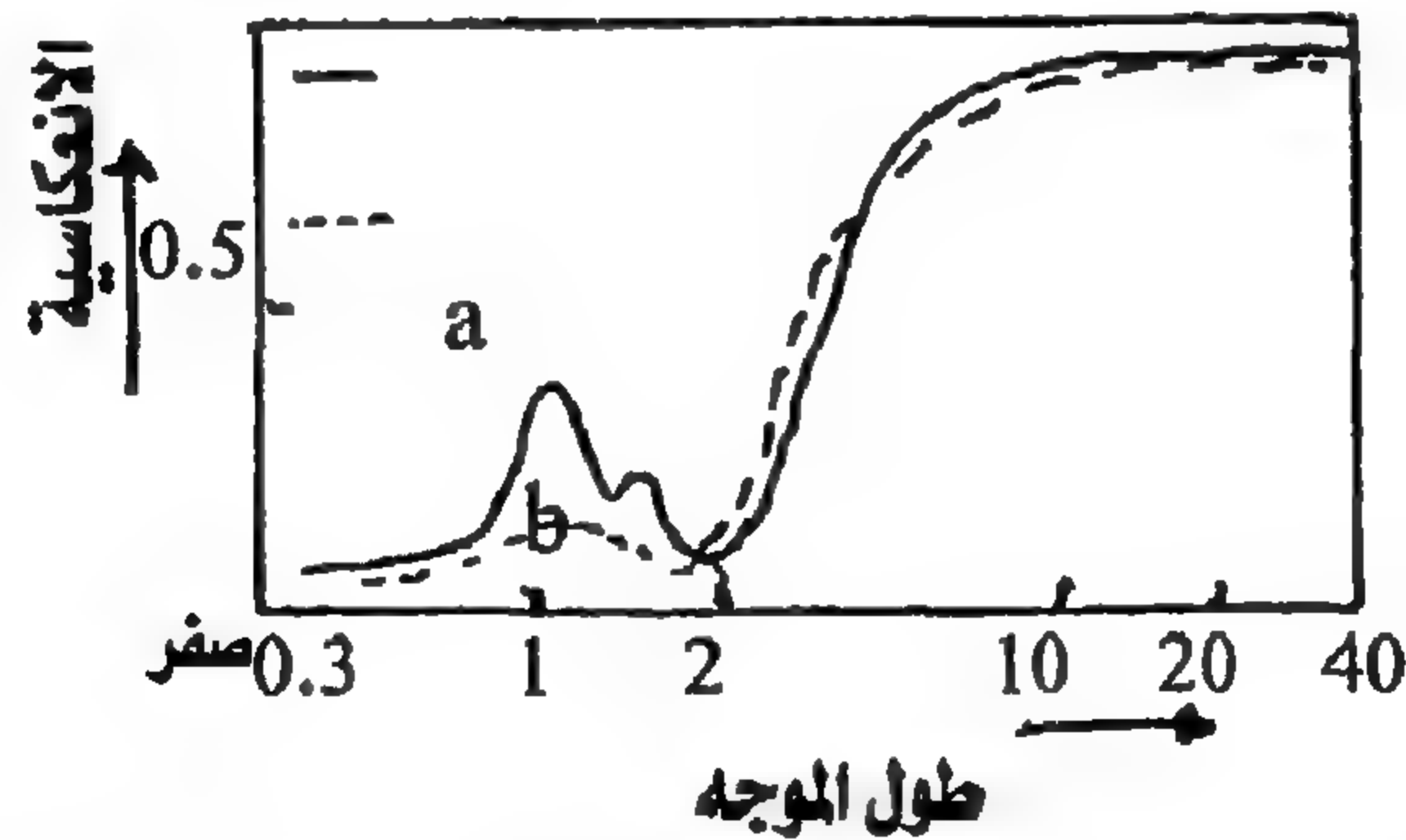
الرشاشة الكاثودية هي العملية التي فيها المادة يتم لفظها من السطح الصلب بعملية تبادل العزم، بسبب طاقة الجسيمات العالية والتي تكون عادة أيونات (ومواد متعادلة مقواه) لغاز خامل، والطريقة الأكثر عمومية للتحقيق هي بتكوين تفريغ وهج غير عادي في الأرجون. الأيونات المنتجة عندئذ تصطدم بالكاثود وتحرر المادة من سطح الكاثود، عادة في الشكل الذري. أي سطح موضوع قريباً من الكاثود سوف يتقاطع مع الذرات من الكاثود وسوف تتم تغطيته. هذا عندئذ يكون هو الترسيب بالرشاشة الكاثودية (Sputter Deposition). الطريقة موضحة في الشكل (4/17).



شكل (4/17) ترسيب بالرش

حيث تتحرك مادة التغطية من الهدف إلى الأساس بواسطة طاقة تصادم الجسم (Energetic particle Bombardment). هنا تقنية التحضير تكون كالتالي:

فمثلاً، في حالة كون السطح الانتقائي الطيفي هو أكسيد التنجستن، فإن الأكسيد يتكون بالرشاشة الكاثودية النشطة في جو من الأرجون بنسبة 97%، 3% أكسجين عند ضغط 10^{-3} تور (Torr) لمدة 8 دقائق (انظر المنحنى في الشكل (5/17)).



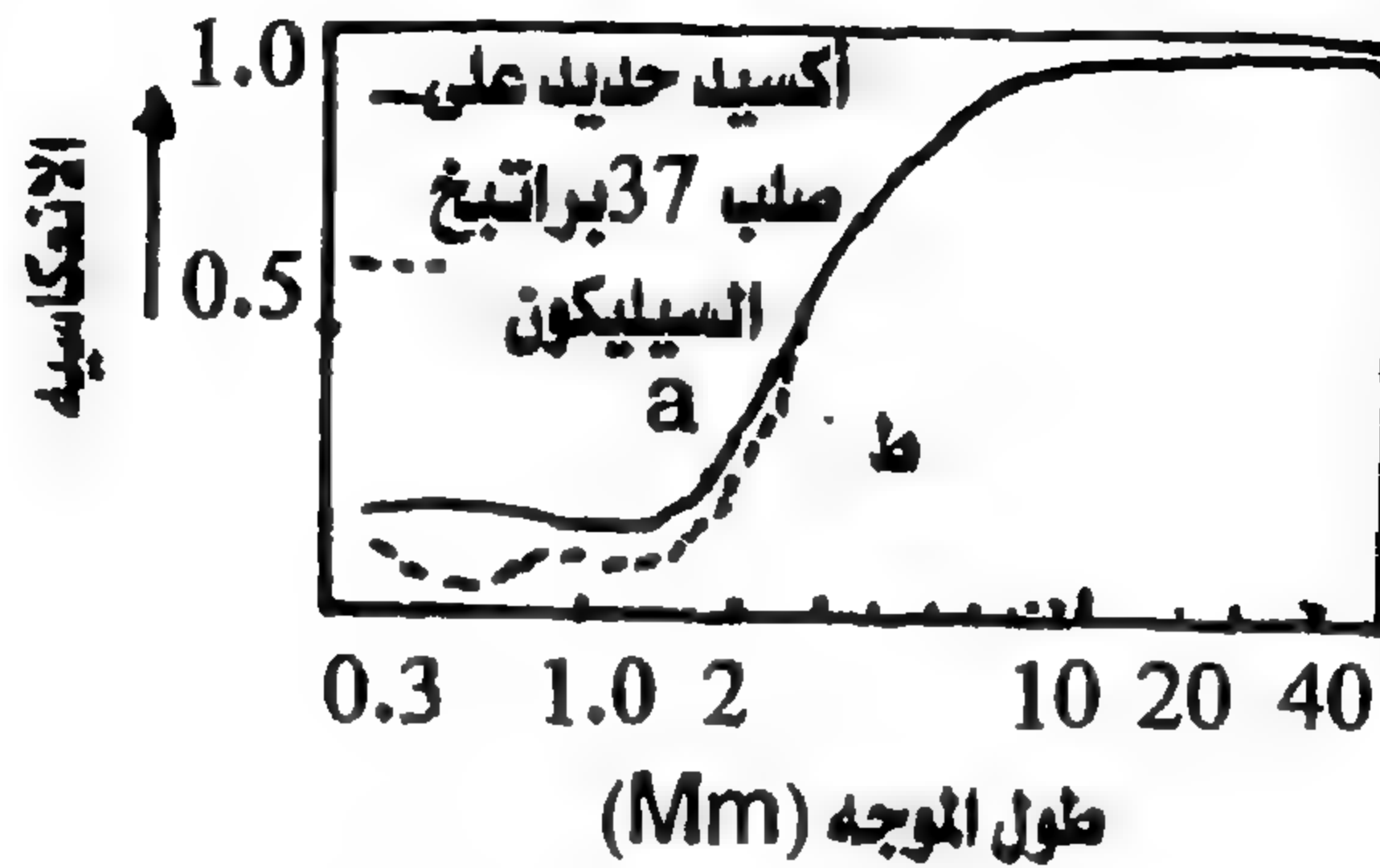
شكل (5/17) قريبا من الانعكاسية الطيفية النصف كروية منحنيات أكسيد التنجستن على النيكل اللامع المنتج بالرش النشط بطبقة الومنيوم هوائية (a) بدون (b)

الانعكاسية العالية في الطيف الشمسي كانت قد انخفضت بواسطة الغطاء المائع للانعكاس من (Al_2O_3) بالتبخير التفريغي تحت إحكام الانعكاسية عند 550 نانومتر.

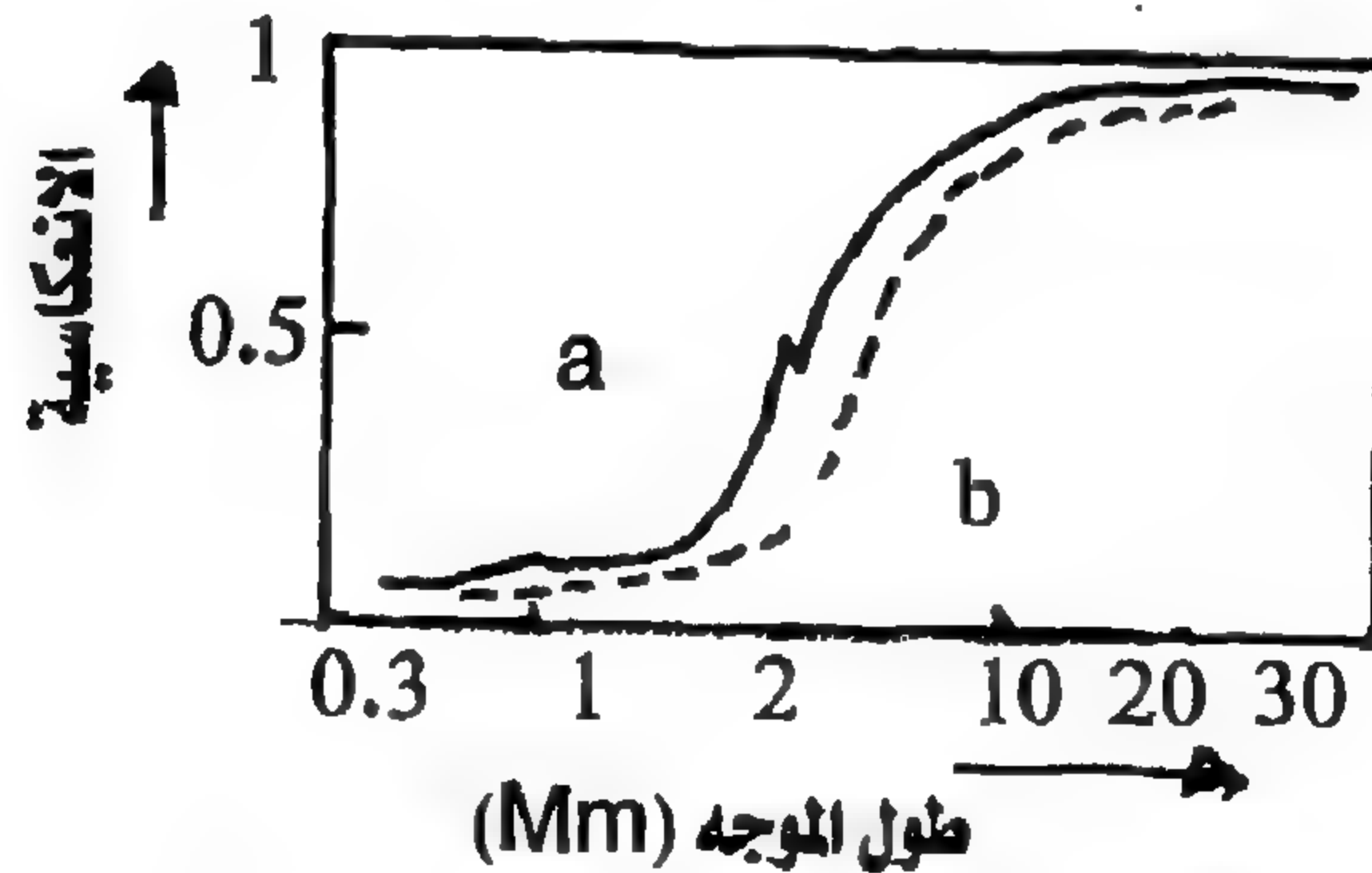
الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

عندئذ يزداد إجمالي الانعكاسية الشمسية من 0.83 إلى 0.93، الانعكاسية الكلية لا تتغير كثيراً.

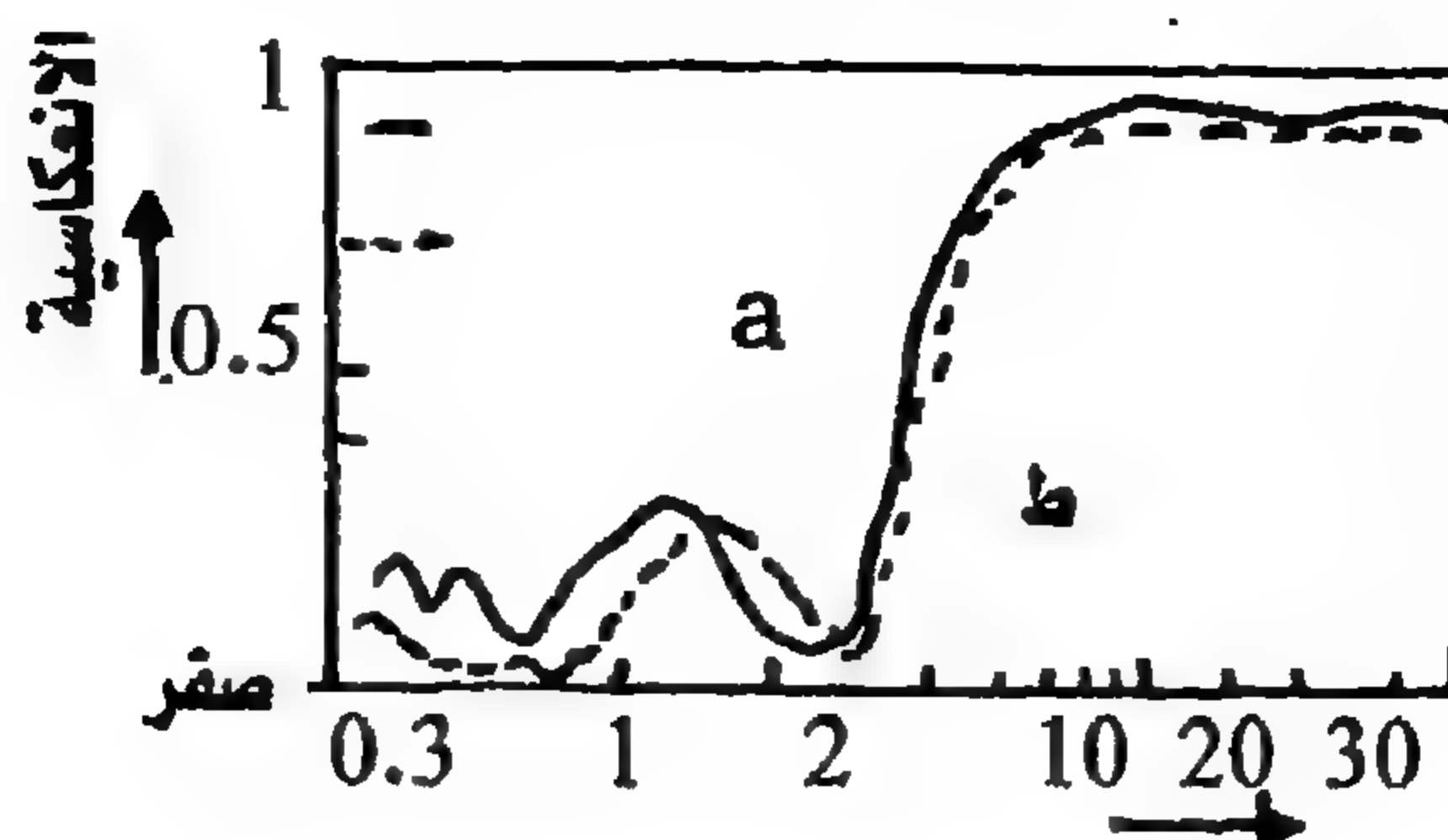
الجدول الآتي يوضح الامتصاصية الكلية للشماس العادي وقيم الانعكاسية الكلية العادية، كما تم الحصول عليها بواسطة الأبحاث التي تمت في جامعة التكنولوجيا في هولندا. منحنيات الانعكاسية الإشعاعية التي تم الحصول عليها لمختلف الأسطح الانتقائية الطيفي كما في الشكل (5/17) إلى الأشكال (6/17)، (7/17).



أشكال (6/17) قريبا من الانعكاسية الطيفية الطبيعية من نصف الكرة ،
منحنيات أكسيد الحديد بواسطة الأكسدة الكيماوية للصلب اللامع (a)
بدون (b) بطبقة من رلتج السيليكون



شكل (7/17) قريبا من الانعكاسية الطيفية الطبيعية من نصف الكرة ،
منحنيات زنك الكروم المعدة بالغمر في الزنك في حمام كميأوى
لمدة دقيقة واحدة (a) ولمدة دقيقتين (b)



(8/17) قريبا من نصف الكرة ،

الانعكاسية الطيفية لأكسيد الكوبالت المعد أولا بالترسيب على

النكل عند 37° (a) 20 ثانية (b) 90 ثانية

جدول (3/17) السطح الانتقائي الطيفي و ξ_n ، $\xi_n (60^\circ)$

سطح الانتقاء الطيفي	ξ_n	$\xi_n (60^\circ)$
أكسيد الحديد على الصلب (0.1 دقيقة)	0.83	0.06
أكسيد الحديد على الصلب (دقيقة واحدة)	0.93	0.06
تحويل زنك كروم على الزنك (دقيقة واحدة)	0.91	0.08
تحويل زنك على الزنك (2 دقيقة)	0.94	0.12
أكسيد الزنك الأسود على الزنك (دقيقة واحدة)	0.95	0.08
أكسيد الكوبالت على النكل (20 ثانية)	0.87	0.07
أكسيد الكوبالت + Fe^{3+} على النكل (90 ثانية)	0.92	0.08
أكسيد التنجستين على النكل (8 دقيقة)	0.83	0.07
أكسيد التنجستين على النكل + $A_2 O_3$	0.93	0.09

4- طريقة ترسيب البخار الكيماوي:

Chemical Vapour Deposition Method

عند التحلل الكيماوي لمركب متطاير أو تفاعله مع غازات أخرى لمادة الأساس لإنتاج منتجات متطايرة وغير متطايرة. فإن المنتجات الغير متطايرة على مادة الأساس تصبح غطاء مثل التحلل الحراري للسيلين ($Si H_4$ - Silane) الذي نتج طبقة تغطية

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

عالية النقاء من السيليكون، ولكن إضافة الأمونيا ينتج عنها ترسيب نيتريد السيليكون، ولكن إضافة الأمونيا ينتج عنها ترسيب نيتريد السيليكون (Silicon Nitride).

5- طريقة الأكسدة الكيماوية:

هذه الطريقة موضحة بأخذ مثال لأكسيد الحديد كسطح انتقائي طيفي. تتم أكسدة عينات الصلب المصقول في محلول عالي القلوية عند 140°C لمدة دقيقة واحدة المحنى (أ) في الشكل (6/17) علوى.

الأكسيد المتكون يكون غالباً Fe_3O_4 تماماً. الامتصاصية الشمسية $\alpha_n = 9.83$ ، إجمالى الانبعاثية الكلية $\gamma_n = 0.06$ عند 60°C طبقة رقيقة من راتنج السيليكون (Dow 805) تزيد α_n إلى 0.93 (الشكل 6/17) المنحنى ب. γ_n لا تزداد لأن طبقة الراتنج الرقيقة كانت شديدة الرقة (100 نانومتر) وشفافة للأشعة تحت الحمراء.

6- الغمر في الأحواض الكيماوية المناسبة:

التغطية بالنحاس الأسود تتم على الألومنيوم النظيف المؤكسد بالأنودة كمادة أساس ومعالجته بمحلول ساخن من نترات النحاس لمدة 10-15 دقيقة. يلاحظ أن الخواص البصرية والحرارية تكون حساسة لتنشيط السطح من مواد الأساس من الألومنيوم المؤنود (Anodized) التغطيات من النحاس الأسود وجد أنها يتحلل بعد حوالى 30 ساعة.

التغطية بتحويل كرومات الزنك تم تحضيرها بواسطة (M. Leiz). حيث عينات الصلب المرسب عليها كهربياً الزنك اللامع تم غمرها في حوض تجارى متاح عند درجة حرارة الغرفة لمدة دقيقة واحدة الشكل (7/17) المنحنى (أ)، لمدة دقيقتين المنحنى (ب).

7- طريقة الطلاء الكهربى: Electroplating Method

يستخدم مختلف الأحواض الإليكتروليتيّة، كما فى حالة تحضير أسود المعدن (metal Blacks) للنیکل الكروم، بهدف الحصول على طبقات يمكن إعادة إنتاجها للنوعية المطلوبة، يتم تأسيس المعايير للتحكم فى مكونات الحوض ومعدل الترسيب. يتم تعظيم زمن الترسيب الكهربى، درجة حرارة المحلول، تركيز المحلول والرقم الهيدروجينى للمحلول (pH value) للحصول على الخواص البصرية والحرارية المطلوبة، فإن النظافة الأولية لمواد الأساس تلعب دوراً هاماً فى السطح النهائى ونوعية الطلاء البصرية. يمكن التغطية المباشرة للنحاس النقى، النحاس المغطى بالنیکل، والحديد بالنیکل الأسود والكروم الأسود. على الجانب الآخر، مواد الأساس من الألومنيوم تتطلب التغطية المسبقة للزنك يليه بالنیکل اللامع قبل الطلاء بالأسود من

النیکل أو الكروم علیهم. فی كلا الحالتین لأسود النیکل والکرم، یلزم التحكم الجید علی درجة حرارة الحمام، كلا من الرقم الهیروجینی (PH) وكثافة التيار وذلك للحصول علی طبقات تغطية جیدة النوعیة. فی حالة التغطية بالنیکل الأسود، فإنه یلزم أن تكون درجة حرارة الحمام فی المجال من 50 - 60 °م، الرقم الهیروجینی من 5-6 وكثافة التيار تكون 200 أمبیر/ المتر المربع (200A/m²). درجة حرارة الحمام وكثافة التيار للکروم الأسود هی 30-40 °م، 8000 أمبیر/متر مربع علی التوالي. وجد أن الامتصاصیة البصریة (Optical Absorbance) (α) والانبعائیة الحراریة (ϵ) (Thermal Emittance) لتغطية بالنیکل الأسود والکروم الأسود یتوقف إلى حد کبیر علی الحالة الطبیعیة، الخشونة السطحیة، تحدیدا لسطح مادة الأساس. تم الحصول علی امتصاص بصری یزید عن 0.9 فی منطقة الطیف الشمسی. وتلك التغطیات أظهرت انعکاسیة قویة فی المنطقة تحت الحمراء ما بعد من 3 میکرومتر. قیم الانعکاس الطیفی أكبر من 0.8 یتم الحصول علیها أكبر من ~ 5 میکرومتر. نسبة (α/ϵ) الناتجة من تلك التغطیات تقع فی المجال من 10-15. بالنسبة لأكسید الكوبالت کطیفی، فإن السطح الانتقائی الذی تم تحضيره کعینات تم أول طلاء کهربی له بالنیکل اللامع ثم الطلاء الکهربی بالكوبالت فی محلول محتویاً علی 450 جرام/ لتر من کبریتات الكوبالت (CoSO₄.7H₂O)، 45 جرام/ لتر CoCl₂.6H₂O، H₃BO₃ عند 40°م لمدة 20 ثانیة الشكل (1-7/17) 90 ثانیة للمنحنی ب. بعد ذلك كانت طبقة الكوبالت قد تأكسدت فی الهواء عند 400°م خلال 1.5 ساعة. طريقة الأنودة بدلاً من الأكسدة یمكن استخدامها حیث الأول أقل تكلفة، الأكسید المتكون بتسخین الكوبالت فی الهواء هو أساساً (COD)، الذی من المحتمل السبب فی الانعکاسیة العالیة فی القریب من الأشعة تحت الحمراء انظر المنحنی أ - الشكل (5/17) هذا الصدم (Bump) یمكن خفضه بالمعالجة بكمیة صغیرة من (Fe³⁺) فی طبقة التغطية من (CoO) (انظر المنحنی ب فی الشكل (5/17) بحیث أن الامتصاصیة الشمسیة کلیة یمكن أن تصل قیم مقبولة، هنا 0.92 انظر كذلك الجدول السابق.

8- طريقة الرش: (Spraying Method)

التغطیات الانتقائیة من أكسید القصیدر النقی (Tin Oxide) تم الحصول علیها برش محلول کحولی من کلورید القصیدریک (Stannic Chloride) علی الأساسات الزجاجیة عند درجة حرارة 500°م. الطبقة المعالجة تم الحصول علیها بإدخال کمیات صغیرة من (Antimony Trichloride) فی محلول الرش. ثم تعظیم العدید من معايير الطلاءات بهدف الحصول علی امتصاصیة عالیة فی منطقة الطیف الشمسی

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

والانعكاسية العالية في المنطقة تحت الحمراء . هذه الطريقة أقل تكلفة وأكثر مناسبة وتنتج تغطيات ذات امتصاصية تزيد عن 0.9 وانبعاث طيفي من $0.2\sim$ مع القليل من المتغيرات في معايير التغطيات، فإن نفس العملية لترسيب الرش تم استخدامها لتحضير التغطيات للغطاء الزجاجي (Cover-Glass) المطلوب لمجمعات اللوح المستوى والأنبوب الخارجي المستخدم في المجمعات الأسطوانية من نوع التركيز البؤري. الانعكاسية لتلك التغطية في المنطقة تحت الحمراء ما بعد 3 ميكرومتر (Beyond 3Mm) تقترب من قيمة 0.87 . لذلك الفقد الحراري من التغطيات السوداء يمكن خفضه إلى حد كبير. الطريقة تستخدم أساساً في صناعة السيراميك، حيث الرش ثم الحرق الذي يليه والذي يحدث في فرق ذو درجة حرارة مرتفعة.

9- الطلاء بالبويه وطرق أخرى:

لقد اقترح أن بناء السطح للمعدن ذو انعكاسية عالية يمكن تصميمه لجعل السطح ماص جيد للأشعة قصيرة الموجة، يتم ذلك بعمل خدوش (Grooving) أو حفر السطح وخلق فجوات ذات أبعاد قريباً من قطع طول الموجة. السطح يعمل كتجهيز لماصات الفجوة لأطوال الموجة القصيرة، ولكن بالنسبة للأشعة طويلة الموجة يشع كسطح مستوى. درجة الانتقائية المنتجة بهذه التقنية أصبحت محدودة. يمكن الحصول على الانتقائية التوجيهية بالتنظيم المناسب للسطح على المستوى الكبير. الأسطح ذات الخدوش العميقة في شكل حرف (V)، كبيرة نسبة إلى كل أطوال الموجات للأشعة ذات العلاقة، يمكن تنظيمها بحيث أن الإشعاع من الاتجاهات القريبة العمودية إلى السطح الكلي سوف تنعكس عدة مرات في الخدوش، كل وقت تمتص جزء من الشعاع، هذا الامتصاص المتكرر يعطي زيادة في الامتصاص الشمسي، ولكن في نفس الوقت يزيد انبعاثية طول الموجة الطويلة.

10- عمر فترة الطلاءات (التغطيات) Life time of coatings

الفترة العمرية لثبات طبقات التغطية تعتبر من العوامل الهامة، عملياً، المجمعات الشمسية يجب أن تصمم للعمل لسنين كثيرة، الأسطح عادة تكون معرضة لعوامل الأكسدة والتآكل الجوي، وتعمل عند درجات حرارة مرتفعة إلى حد ما أي أن الأسطح تكون معرضة للدورات الحرارية اليومية، الخواص الآتية شديدة الأهمية.

أ- التمدد الحراري:

التصاق الطبقات الرقيقة يجب أن يكون كافياً للتعامل القوى الناتجة عن الاختلاف في التمدد الحراري لمختلف مكونات الطبقات.

ب- التسرب: (Diffusion)

ثبات الأداء للطبقات الرقيقة يعتمد على احتجاز كل طبقة لخواصها البصرية بدون تغيير مع الوقت. التسرب يمكن أن ينتج بسبب الإذابة لمكون في الآخر ويزداد بالحرارة، يمكن منعه باستخدام مانع التسرب (مثل نيتريد السيليكون Silicon Nitride) كمانع لتسرب السيليكون).

ج- التبخير:

الطلاء يجب أن يكون له ضغط بخار منخفض لتجنب التبخر تحت درجات الحرارة والضغط داخل الغلاف المفرغ، معظم المعادن، والسيراميك الحراري من المواد المرشحة تحقق ذلك المطلوب.

الملحق: تعريفات الوحدات الرياضية والعلمية

أ- مضاعفات الرقم عشرة:

الرمز	الاسم	العامل
T	تيرا - Tera	10^{12}
G	جيجا - Giga	10^9
M	ميغا - Mega	10^6
K	كيلو - Kilo	10^3
m	ميلي - Milli	10^{-3}
M	ميكرو - Micro	10^{-6}
n	نانون - Nano	10^{-9}
P	بيكو - Pico	10^{-12}

ب- التحويل للوحدات:

1- الطول، متر/ متر/ث

واحد قدم	= 0.03048 متر = 30.48 سم
واحد متر	= 100 سم = 1000 ملمتر = 3.2808 قدم
	= 39.37 بوصة = 1.0936 ياردة
واحد بوصة	= 2.54 سم = 0.0254 متر
واحد ميل	= 1.609344 كيلومتر
واحد كيلومتر	= 0.62137 ميل
واحد ملمتر	= 1000 ميكرون (M)
واحد ميكرون (M)	= 3.281×10^{-6} قدم = 10^{-4} سم
1 قدم / الدقيقة	= 0.00508 متر / ثانية
1 ميل / الساعة	= 0.44703 متر / ثانية
1 كيلومتر / الساعة	= 0.227778 متر / ثانية

2- الكتلة كيلوجرام، كيلوجرام/ المتر المربع، كيلوجرام/ ثانية، كيلو/ثانية متر²

واحد كيلوجرام	= 2.205 رطل متر
واحد رطل متر	= 453.592 جرام = 0.453592 كيلوجرام
واحد رطل/قدم مكعب	= 16.0185 كيلوجرام/متر مكعب
واحد جرام/سم ³	= 10 ³ كجرام/ متر مكعب
رطل/الساعة	= 0.00012599 كيلوجرام/الثانية
رطل/الساعة قدم مربع	= 0.001356 كيلوجرام/ثانية متر مربع

3- المساحة:

واحد بوصة مربعة	= 6.4516 سم ² = 0.00064516 متر مربع
واحد قدم مربع	= 929.03 سم ² = 0.0929 متر مربع
واحد سم ²	= 0.165 بوصة مربعة
واحد متر مربع	= 10.7693 قدم مربع
واحد ميل مربع	= 2.58999 كيلومتر مربع

4- الحجم: متر مكعب، متر مكعب/ كيلو جرام، متر مكعب/ الثانية

واحد بوصة مكعبة	= 16.387 سم ³
واحد لتر	= 1000 سم ³ = 61.024 بوصة مكعبة
	= 10 ⁻³ متر مكعب
واحد جالون (إنجليزي)	= 4.546 لتر = 0.1605 قدم مكعب
واحد جالون	= 3.78 كجرام
واحد متر مكعب	= 35.3148 قدم مكعب = 1000 لتر
واحد قدم مكعب	= 0.028 متر مكعب
واحد قدم مكعب/الرطل	= 0.062428 متر مكعب/ كجرام

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة
5- الكثافة: كيلو جرام/ متر مكعب

واحد جرام/سنتيمتر مكعب	= 62.43 رطل/ قدم مكعب
واحد رطل/القدم المكعب	= 16 كجرام/ المتر المكعب
	= 0.016 جرام/سم ³
واحد لتر (هواء)	= 1.2982 جرام عند درجة حرارة والضغط العادي

6- القوة (Force):

نيوتن (N)	= N/m، كجرام متر/ ثانية ²
واحد نيوتن (N)	= 1 كجرام - متر - ثانية ²
واحد جرام-سم-ثانية ² dyne	= 10 ⁻⁵ كجرام-متر - ثانية ² (نيوتن)

7- الضغط: (Pressure)

باسكال (Pa)	= نيوتن/م ² (N/m ²)
واحد بار	= 750.06 مليمتري زئبق
	= 401.85 متر ماء
	= 29.53 بوصة زئبق
	= 0.98692 جوى
	= 10 ⁵ نيوتن/م ² (10 ⁵ N/m ²)
	= 10 ⁵ باسكال
	= 10 ³ كجرام/ متر - ثانية ²
	= 10 ⁴ جرام/ سم - ثانية ²
واحد نيوتن/م ² (IN/M ²)	= 1 باسكال
	= 10 ⁻² كجرام/ متر - ثانية ²
	= 10 ⁻¹ كجرام/ متر - ثانية ²
	= 7.5006 × 10 ⁻³ مليمتري زئبق

$= 4.1085 \times 10^{-3}$ ملليمتر ماء	
$= 2.953 \times 10^{-4}$ بوصة زئبق	
$= 0.98692 \times 10^{-5}$ جوى	
$= 4.788 \times 10^2$ جرام/سم - ثانية ²	واحد رطل/ القدم المربع
$= 4.788 \times 10^2$ كجرام/سم - ثانية ²	
$= 4.7254 \times 10^{-4}$ جوى	
$= 3.5913 \times 10^{-1}$ بار	
$= 6.8947 \times 10^4$ جرام/سم - ثانية ²	واحد رطل/ البوصة المربعة
$= 6.8947 \times 10^{-3}$ كجرام/سم - ثانية ²	(PSI)
$= 144$ رطل/ قدم مكعب	
$= 0.06895$ بار	
$= 6.885 \times 10^{-3}$ نيوتن/م ²	
$= 6.895$ كيلوبار	
$= 51.715$ ملليمتر زئبق	
$= 0.0703$ كجرام/سم ²	
$= 10^{-1}$ كجرام/ متر/ ثانية ²	واحد جرام/سم-ثانية ²
$= 2.0886$ رطل/ قدم مربع	
$= 1.4504 \times 10^{-5}$ جوى	
$= 7.5006 \times 10^{-4}$ ملليمتر زئبق	
$= 10^{-4}$ بار $(10^N/m^2)$	
$= 10$ جرام/سم - ثانية ²	واحد كيلوجرام/متر-ثانية ²
$= 2.0886 \times 10^2$ رطل/ القدم المربع	
$= 1.4504 \times 10^{-4}$ رطل/ بوصة مربعة	

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

$= 9.8692 \times 10^{-6}$ جوى	
$= 10^{-5}$ بار (1 N/m^2)	
$= 7.5006 \times 10^{-2}$ مليمتري زئبق	
$= 1.03$ كجرام/سم ²	واحد جوى
$= 101.325$ كيلوبار	
$= 1.01325 \times 10^5$ نيوتن متر/متر مربع	
$= 1.01325$ بار	
$= 760$ مليمتري زئبق	
$= 14.696$ قدم/ بوصة مربعة	
$= 2.11621 \times 10^3$ رطل/ قدم مربع	
$= 1.0133 \times 10^5$ جرام/ سم - ثانية ²	
$= 1.332 \times 10^3$ جرام/ سم - ثانية ²	واحد مليمتري زئبق
$= 1.332 \times 10^2$ كجرام/ سم - ثانية ²	
$= 2.7845$ رطل/ قدم مربع	
$= 1.9337 \times 10^2$ رطل/ بوصة مربعة	
$= 1.3158 \times 10^{-3}$ جوى	
$= 1.332 \times 10^{-3}$ بار	
$= 1.332 \times 10^{-3}$ نيوتن/ متر مربع	
$= 9.80665$ بار	واحد مليمتري زئبق
$= 249.089$ بار	واحد مليمتري ماء

8- اللزوجة:

$=$ نيوتن/ ثانية/2) = (كجرام/ متر ثانية)	اللزوجة بار ثانية
$=$ سنتي بويز $= 10^{-3}$ بار ثانية	

9- التشتت، α اللزوجة الحركية:

أى التشتت ولزوجة المائع مقسوماً على حركته واحد سنتى ستوك (centistokes) $= 10^{-6}$ متر مربع/ ثانية.

واحد قدم مربع/ الساعة	$= 25.804 \times 10^{-6}$ متر مربع/ الثانية
-----------------------	---

10- شغل الطاقة: (work of Energy)

جول J = نيوتن متر = Ws (J = Nm = Ws)

(J/Kg °C, J/Kg)

واحد إرج	$= 10^{-7}$ جول
	$= 2.3901 \times 10^{-8}$ كالورى
	$= 9.4783 \times 10^{-11}$ (Btu)
	$= 2.7778 \times 10^{-14}$ كيلوات - ساعة
واحد جول	= واحد نيوتن متر
	= واحد وات - ثانية
	$= 10^{-7}$ ارج
	$= 0.73756$ رطل/قدم
واحد وحدة حرارية/رطل (IBtu/lb)	$= 2.326$ كيلو جول/كجرام
واحد وحدة حرارية/رطل فهرنهايت	$= 4.1868$ كيلو جول/كجرام م

11- القوة: Power watt J/s Nm/s, W/m², w/m² °C, w/M °C

واحد وات	= واحد جول/ثانية = 0.86 كيلو كالورى/الساعة
	$= 978 \times 10^{-4}$ وحدة حرارية/ ثانية
واحد حصان	= 746 وات = 596.8 كيلو كالورى/ الساعة
واحد وحدة حرارية/الساعة	= 0.263071 وات

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

واحد كيلو كالورى/ الساعة	= 1.163 وات
واحد وات/ قدم مربع	= 10.763 وات/ متر مربع
واحد وحدة حرارية/ الساعة قدم مربع درجة فهرنهايت	= 5.67826 وات/ متر مربع °م

12- معدل تدفق الطاقة (Q):

واحد وات	= 0.86 كيلو كالورى/ الساعة
	= 0.23901 كالورى/ الثانية
	= 3.4143 وحدة حرارية/ الساعة
واحد كيلو كالورى/ الساعة	= 0.2778 كالورى/ الثانية
	= 3.968 وحدة حرارية/ الساعة
	= 1.163 وات
واحد كالورى/ الثانية	= 3600 كالورى/ الساعة
	= 84.285 وحدة حرارية/ الساعة
	= 4.184 وات
واحد وحدة حرارية/ الساعة	= 0.252 كيلو كالورى/ الساعة
(1 BtuLhr)	= 0.293076 وات
واحد وحدة كالورى/ الثانية	= 3600 كالورى/ الساعة
	= 84.285 وحدة حرارية/ الساعة
	= 4.184 وات

13- كثافة الطاقة (Energy Flux) (Q/A)

واحد كيلو كالورى/ الساعة - متر مربع	= 0.3686 وحدة حرارية/ الساعة-قدم مربع
	= 1.162 وات/متر مربع
	= 27.78×10^{-6} كالورى/ ثانية-م ²

واحد كالورى / الثانية - سم ²	= 3600 كيلو كالورى / الساعة - متر مربع
	= 0.23901 سعر حرارى
	= 2.7778×10^{-7} كيلو وات ساعة
واحد رطل - قدم (1ft - 1bf)	= 1.3558×10^{-7} ارج
	= 1.3558 جول
	= 0.32405 كالورى
	= 1.2851×10^{-3} وحدة حرارية
	= 5.0505×10^{-7} حصان - ساعة
	= 3.7662×10^{-7} كيلوات - ساعة
واحد كالورى	= 4.184×10^{-7} ارج
	= 4.184 جول
	= 3.9657×10^{-3} وحدة حرارية
	= 1.5586×10^{-6} حصان - ساعة
	= 1.622×10^{-6} كيلوات - ساعة
واحد وحدة حرارية (1Btu)	= 1.055×10^{-10} ارج
	= 1.055×10^3 جول
	= 1.055 كيلو جول
	= 252.16 كالورى
	= 3.9301×10^{-1} حصان - ساعة
	= 2.6307×10^{-4} كيلوات - ساعة
واحد كيلو ساعة	= 3.6×10^{13} ارج = 3.6×10^6 جول
(1kw-hr) (Kw-wh)	= 3.6 ميغا جول
	= 2.6552×10^6 قدم - رطل

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

$= 7.6042 \times 10^5$ كالورى	
$= 3.4122 \times 10^3$ وحدة حرارية = 1.341 حصان ساعة	
$= 860.42$ كيلو كالورى	
$= 1$ جرام - سم ² - ثانية ⁻²	واحد أرج
$=$ واحد كيلو جرام - م ² - ثانية ⁻²	واحد جول
$= 4.186 \times 10^{10}$ إرج	واحد كيلو كالورى
$= 4.1846 \times 10^3$ جول (4.1846 كيلو جول)	
$= 3086$ قدم - رطل = 3.9657 وحدة حرارية	
$= 1.5586 \times 10^{-3}$ حصان - ساعة	
$= 105.506$ ميغا جول	واحد ثيرم (I Therm)
$= 30960$ وات/متر مربع	
$= 14.285$ وحدة حرارية/الساعة - قدم مربع	
$= 2.713$ كيلو كالورى/الساعة - متر مربع $= 3.1552$ وات/متر مربع	واحد وحدة حرارية/الساعة - قدم مربع
$= 0.86$ كيلو كالورى/الساعة - متر مربع	واحد وات/متر مربع
$= 0.23901 \times 10^{-4}$ كالورى/الثانية-سم ²	
$= 0.317$ وحدة حرارية/الساعة - قدم مربع	

14- التوصيل الحرارى: (Thermal conductivity) K, (W/M °C)

$= 2.3901 \times 10^{-3}$ كالورى/ثانية - سم - درجة كيلفن	واحد وات/متر - درجة كيلفن
$= 0.5778$ وحدة حرارية/ساعة - قدم مربع فهرنهايت	

$0.8598 = \text{كيلو كالورى/ الساعة} - \text{متر درجة مئوية}$	
---	--

15- معامل الانتقال الحرارى: $(h, (W/M^2. ^\circ C)$

$2.3901 \times 10^{-5} = \text{كيلفن} - \text{درجة} - \text{وات/متر مربع} - \text{درجة كيلفن}$	$10^{-4} = \text{وات/سم}^2 - \text{درجة كيلفن}$
$1.7611 \times 10^{-1} = \text{ساعة} - \text{درجة فهرنهايت} - \text{وحدة حرارية/ قدم مربع}$	$0.86 = \text{كيلو كالورى/ متر مربع}$
$4.184 \times 10^4 = \text{كيلفن} - \text{درجة} - \text{وات/متر مربع} - \text{درجة كيلفن}$	$4.184 = \text{وات/سم}^2 - \text{درجة كيلفن}$
$7.3686 \times 10^3 = \text{ساعة} - \text{درجة فهرنهايت} - \text{وحدة حرارية/ قدم مربع}$	$36000 = \text{كيلو كالورى/ متر مربع} - \text{ساعة} - \text{درجة مئوية}$
$1.163 = \text{كيلو كالورى/ متر مربع} - \text{درجة كيلفن} - \text{ساعة} - \text{درجة مئوية}$	$2.78 \times 10^{-5} = \text{كيلفن} - \text{درجة} - \text{وات/سم}^2 - \text{ثانية} - \text{درجة}$
$1.163 \times 10^{-4} = \text{وات/سم}^2 - \text{درجة كيلفن}$	$0.2048 = \text{وحدة حرارية/ قدم مربع} - \text{ساعة} - \text{درجة فهرنهايت}$

الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة

جـ - جداول التحويل للكميات الحرارية:

التحويل الآتي	إلى	أضرب في	عكسياً أضرب في
درجة مئوية م°	K° كلفن	أضف 273.15	اطرح 273.15
درجة فهرنهايت (F°)	درجة مئوية م°	$9/(32 - F) 5$	$32 + 5/9$
درجة فهرنهايت (F°)	كلفن K	$9/(32 - F) 5 + 273.15$	$9 + (273.15 - K) 5 \div 32$
درجة رومر R°	K	$9 \div (191.67 - R) 5 + 273.15$	$9 \div (273.15 - K) 5 + 491.67$

د - انبعاثية الأسطح العادية: Emittance of common surfaces

المادة	درجة الحرارة م°	الانبعاثية %
ألومنيوم لامع	100	9.5
لامع إلى حد ما	-	18
حديد لامع إلى حد ما	100	17
شعيرة التتجستين	1500	33
الطوب (أحمر/ خشن)	90 - صفر	93
الخرسانة (خشنة)	35	94
زجاج (ناعم)	25	94
خشب	90	90

هـ - الوحدات المشتقة بأسماء جديدة:

م	الوحدة المشتقة	رمز الوحدة	الكمية الطبيعية
1	نيوتن (Newton)	$N = \text{kgm}/\text{S}^2$	قوة
2	جول (Joule)	$J = \text{Nm} = \text{kgm}^2/\text{S}^2$	طاقة، شغل أو حرارة
3	وات	$W = J/\text{S} = \text{Nm}/\text{S} = \text{kgm}^2/\text{S}^2$	قوة، معدل تدفق الحرارة
4	باسكال	$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{kg}/\text{M}^2$	ضغط، إجهاد ضغط أو معامل اللدونة

المراجع: References

1. Achard, P, Leomte, By Mayer. (D.V. 981) Characterization and Modelling on Energy Storage Volume 2 P403, BHRA
2. Boldt (1978) "Solar Powered Water Pumps for Rural Third World, Danish Technica University, Lab, for Energetics.
3. Coulson, K (1985) "Solar and Terristial Radiation". Academic Press New York and London.
4. Duffie, Beckman, W. (1994): Solar Energy Thermal Process Wiley, New York.
5. Bent Sorenson renewable Energy. Academic Press, Burlington MA 01803, USA, ISBN: 0-12 - 656 153-2.
6. Selected Indian Publications About Solar Energy Utilization.

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
Scientific Book House

٥ شارع الشيخ ريجان - عابدين - القاهرة

٢٧٩٥٤٢٢٩ ☎

www.sbh-egypt.com

e-mail : sbh@link.net

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
هـ شارع الشيخ ريجان - عابدين - القاهرة
٢٧٩٥٤٢٢٩
www.sbh-egypt.com
e-mail : sbh@link.net
Scientific Book House